

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

А.А. АНДРИЖИЕВСКИЙ
В.И. ВОЛОДИН

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов технологических,
инженерно-технических и инженерно-экономических
специальностей учреждений, обеспечивающих получение
высшего образования

2-е издание, исправленное



Минск
«Вышэйшая школа»
2005

УДК 620.9.004.18:65.01(075.8)
ББК 31.19я73
А 65

Рецензенты: заместитель заведующего кафедрой ЮНЕСКО "Энергосбережение и возобновляемые источники энергии" Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук, профессор *В.Г. Баишовой*; заместитель генерального директора Объединенного института энергетических и ядерных исследований Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук *А.П. Якушев*

Андрижиевский, А. А.

А 65 Энергосбережение и энергетический менеджмент: учеб. пособие / А.А. Андрижиевский, В.И. Володин. – 2-е изд., испр. – Мн.: Выш. шк., 2005. – 294 с.
ISBN 985-06-1128-6.

Представлена общая методология комплексного анализа эффективности использования энергии при ее производстве, передаче и потреблении. Методология включает анализ энергетической эффективности использования энергии и экономической эффективности энергосберегающих мероприятий. Обучение проводится на доступных, адаптированных к учебному процессу в высших учебных заведениях примерах.

Для студентов технологических, инженерно-технических и инженерно-экономических специальностей высших учебных заведений. Может быть использовано практическими работниками в области энергосбережения.

УДК 620.9.004.18:65.01(075.8)
ББК 31.19я73

© Андрижиевский А.А.,
Володин В.И., 2005

© Андрижиевский А.А.,
Володин В.И., 2005,
с изменениями

© Издательство «Вышэйшая школа», 2005

ISBN 985-06-1128-6

ПРЕДИСЛОВИЕ

Все знакомы с такими распространенными понятиями, как электричество, тепло. Но мало кто связывает эти понятия с термином «энергия». И тем более большинство людей не задумываются об эффективности ее использования.

Давно установлено, что степень развития техники и уровень жизни в любой стране непосредственно связаны с количеством потребляемой энергии. Чем больше потребляется энергии на одного жителя, тем выше уровень жизни и шире использование более совершенных технологий в промышленности.

Выявлена и другая дополнительная закономерность. Уровень жизни прямо пропорционален эффективности использования энергии. При неэффективном использовании энергии он значительно ниже, так как национальный доход страны уменьшается.

Вопросами эффективного использования энергии при ее производстве, преобразовании, транспортировке, распределении и потреблении занимается новое направление энергетики – энергосбережение.

Инструментом достижения эффективности использования энергии является энергетический менеджмент. Данным термином объединяется комплекс информационно-аналитических, организационно-технических и нормативно-правовых мероприятий, направленных на эффективное производство и рациональное потребление топливно-энергетических ресурсов.

Главная задача энергетического менеджмента – сформировать сбалансированную связку «запрос энергии – предложение энергии» в соответствии с потребностями экономики на макро- и микроуровнях.

В основе практической реализации функций энергетического менеджмента по управлению энергетическими потоками лежит информационный банк данных дина-

мике энергетических и материальных потоков на предприятии. Критический анализ собранной информации на основе структурных моделей производства позволяет сделать обоснованные выводы относительно энерготехнологической и экономической эффективности работы предприятия и, при необходимости, принять решение о модернизации исследуемого технологического процесса.

Расчет энергетической и финансовой эффективности деятельности предприятий необходимо проводить с учетом их возможного косвенного влияния на технологические и экономические показатели других предприятий (так называемые взаимосвязанные технологии). Подобный комплексный подход позволяет выявить оптимальные пути совершенствования технологической деятельности общества и избежать непроизводительных затрат материальных и финансовых ресурсов.

Необходимо указать и на еще один аспект энергосбережения, непосредственно связанный с необходимостью решения сложных проблем технологической деятельности человека, а именно необходимостью сбалансированного подхода к интенсификации этой деятельности и снижения давления на окружающую среду.

В основе настоящего учебного пособия лежит одноименный курс, который авторы читают в Белорусском государственном технологическом университете (Андрижневский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. – Мн.: БГТУ, 2003). В нем излагается общая методология комплексного технико-экономического анализа эффективности использования энергии при ее производстве, передаче и потреблении, рассматриваются вопросы организации энергосбережения на предприятии.

Пособие включает некоторые типичные задачи с решениями и контрольные вопросы.

В книге использованы данные и иллюстративные материалы из цитируемой литературы.

Учебное пособие предназначено для студентов технологических, инженерно-технических и инженерно-экономических специальностей вузов. Может быть использовано практическими работниками в области энергосбережения.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Статистика показывает, что с ростом потребления энергии на одного жителя в год качество жизни повышается. Уровень жизни также зависит и от эффективности использования энергии. Очевидно, что в странах с более высоким потреблением энергии национальный доход на душу населения также выше (табл. В.1).

Таблица В.1

Показатели эффективности использования энергии стран со сходными климатическими условиями

Страна	Потребление энергоресурсов на душу населения, т у.т.	Эффективность использования энергии, дол. США ВВП/кг у.т (рейтинговый показатель)
1	2	3
США	8,3	3,9 (8)
Канада	7,9	3,2 (9)
Финляндия	6,5	4,8 (7)
Швеция	5,8	5,2 (6)
Франция	4,2	6,7 (4)
Россия	4,2	0,5 (18)
Германия	4,1	7,7 (3)
Дания	3,9	10,0 (2)
Швейцария	3,8	12,2 (1)
Чехия	3,8	1,4 (12)
Ирландия	3,7	6,7 (5)
Эстония	3,2	1,3 (14)

Окончание табл. В.1

1	2	3
Украина	3,0	0,6 (17)
Венгрия	2,6	2,0 (10)
Польша	2,5	1,7 (11)
Беларусь	2,4	1,1 (15)
Литва	2,2	0,9 (16)
Латвия	1,6	1,5 (13)

Потребность страны в энергии R определяется зависимостью

$$R = EN, \quad (\text{В.1})$$

где E – годовое потребление энергии на душу населения; N – количество жителей в стране. Национальный доход на душу населения S пропорционален эффективности использования энергии:

$$S = fE, \quad (\text{В.2})$$

где f – нелинейный параметр, определяющий эффективность использования энергии. Этот параметр аналогичен коэффициенту полезного действия.

Подставив E из (В.2) в (В.1), получим

$$R = SN/f. \quad (\text{В.3})$$

Таким образом, из зависимостей (В.1) и (В.3) следует, что потребность страны в энергии может быть удовлетворена или за счет наращивания мощности энергетических установок, или за счет эффективного использования энергии.

Для решения практических вопросов эффективного использования энергии необходимо знание основных терминов и понятий, связанных с производством, преобразованием, транспортировкой и потреблением энергии, а

также непосредственно касающихся энергосбережения. Рассмотрим их с краткими комментариями.

Энергия является мерой способности объекта совершить работу. Известно много видов энергии, например тепловая, механическая, электрическая, излучения, химическая, ядерная, массы. В ряде публикаций теплоту не относят к отдельному виду энергии, а считают лишь формой или способом ее передачи.

Одним из критериев оценки качества энергии принимается доля энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Широко распространенные и перспективные источники энергии имеют следующие ориентировочные значения этого критерия:

- теплота сжигаемого топлива – 30–45 %;
- электроэнергия – 95 % и более;
- источники механической энергии: ветровая – 30 %, водных потоков рек – 60 %, волновая и приливная – 65 %;
- тепловые возобновляемые источники – 35 %;
- фотоэлектрические преобразователи – 15 %.

Источники энергии делятся на невозобновляемые (истощаемые) и возобновляемые (неистощаемые).

Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы вещества и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. В первую очередь к ним следует отнести ископаемые топлива и продукты их переработки: каменный и бурый уголь, сланцы, торф, нефть, природный и попутный газ. Это также отходы некоторых производств: металлургической промышленности, процессов химической и термехимической переработки углеводородного и углеводородного сырья и т.д.

Возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии: Солнца, ветра, тепловой энергии Земли, морей и океанов, рек, биомассы (растений и животных).

Запасы и перспективы использования различных источников энергии определяются энергетическими ресурсами.

Энергетический ресурс – носитель энергии, который используется в настоящее время или может быть использован в перспективе. В настоящее время основными потребляемыми энергетическими ресурсами являются природные топлива и энергия потоков воды, которые представляют собой не что иное, как преобразованную энергию Солнца. Предварительно переработанный, преобразованный энергетический ресурс, непосредственно используемый на стадии конечного потребления, а также природный энергетический ресурс, потребляемый на этой стадии, называются *энергоносителями*. Примеры энергоносителя – природный газ, мазут (котельное топливо), горячая вода и пар в системах центрального теплоснабжения и т. д.

Энергетические ресурсы подразделяют на первичные и вторичные.

Первичный энергоресурс – энергоресурс, который не был подвергнут какой-либо переработке.

Вторичный энергоресурс (ВЭР) – энергоресурс, получаемый в виде побочного продукта основного производства или являющийся таким продуктом. Фактически ВЭР являются отходами производства. Применение ВЭР позволяет значительно повысить эффективность использования энергии.

Топливо-энергетический комплекс, охватывающий получение, передачу, преобразование и использование различных видов энергии и энергетических ресурсов, называется *энергетикой*.

Энергетика делится на традиционную и нетрадиционную.

Традиционная энергетика базируется на использовании ископаемого горючего или ядерного топлива и энергии воды крупных рек (рис. В.1). Она подразделяется на теплоэнергетику, электроэнергетику, ядерную энергетику и гидроэнергетику.

Нетрадиционная энергетика включает возобновляемые источники энергии и ВЭР: энергию Солнца (тепловая энергия, превращенная тепловая энергия, кинетическая энергия, фотосинтез), тепловую энергию Земли, энергию планетарного движения (приливы), ВЭР (тепловые, горючие и перепадов давления).

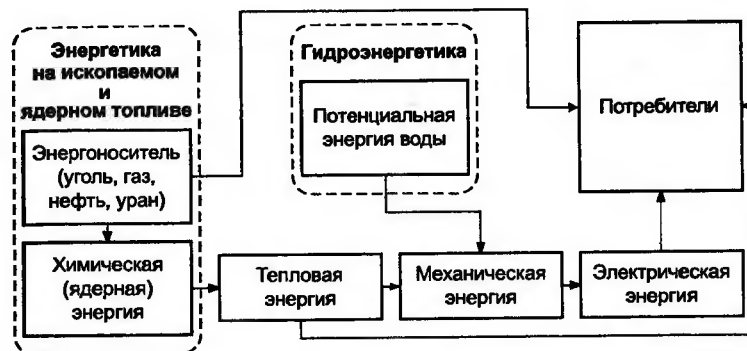


Рис. В.1. Энергетическая цепочка, основанная на традиционной энергетике

Энергетические цепочки от источника до конечного потребления энергии включают преобразование энергии в различные виды. Эти процессы и составляют сущность энергетики.

Источником энергии (рис. В.2) является окружающая среда.

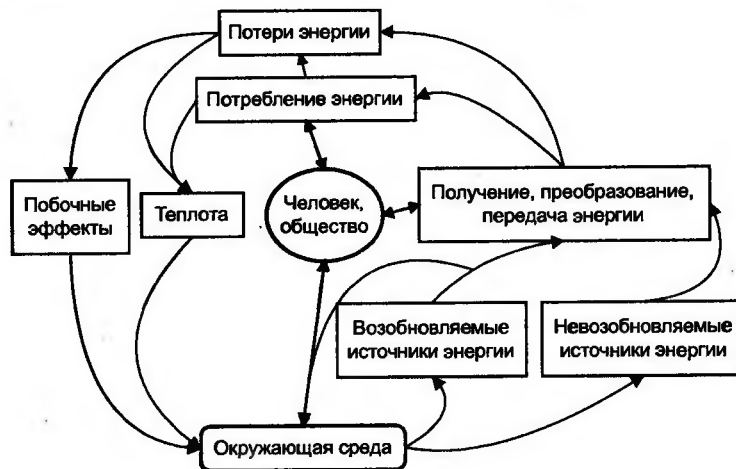


Рис. В.2. Взаимосвязь человека, энергетики и окружающей среды

Вместе с тем на каждой стадии производства, передачи и потребления энергии имеются ее потери в виде теплоты, рассеивающейся обратно в окружающую среду.

Решение вопросов уменьшения потерь энергии и ее эффективного использования на всех стадиях составляет сущность энергосбережения.

Энергосбережение – организационная, научная, практическая и информационная деятельность, направленная на эффективное использование энергетических ресурсов и реализуемая с применением технических, экономических и правовых методов. Энергосбережение включает широкий набор взаимосвязанных действий и методов для обеспечения эффективного использования энергии.

Эффективное использование энергии – достижение экономически и социально оправданного уменьшения использования энергетических ресурсов на единицу продукции или услуг при существующем уровне развития техники и технологий и соблюдении требований к охране окружающей природной среды.

Экономия энергии – результаты реализации мер, применяемых в целях снижения непроизводительных потерь топлива, электроэнергии, теплоты, механической энергии. Экономия энергии может достигаться пассивными и активными методами.

К пассивным методам, например, относится использование теплоизоляции для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду путем применения материалов и конструкций с малой теплопроводностью и теплопередачей.

Активная экономия энергии – регулирование отпуска теплоты на отопление и кондиционирование воздуха и регулирование нагрузки потребительских установок. Активная экономия энергии также включает утилизацию вторичных энергоресурсов. Экономия энергии может достигаться и за счет организационных изменений и внедрения новых систем, например путем использования установок, процессов, продукции или услуг, требующих меньше энергии для работы или изготовления продукции, чем применявшиеся ранее, без ухудшения качественных ха-

рактеристик производимых изделий или услуг. Кроме того, может проводиться замещение применяющегося энергоносителя другим с достижением экономической выгоды без ущерба для выпуска конечной продукции. Например, в отдельных случаях замещение технологического пара горячей водой приводит к уменьшению непроизводительных потерь теплоты.

Конечный результат экономии энергии может быть прямым и косвенным.

Прямое энергосбережение связано непосредственно с экономией энергетических ресурсов при производстве, преобразовании и транспортировке энергии.

Косвенное энергосбережение связано с экономией материальных неэнергетических ресурсов при их добыче, переработке и эксплуатации и достигается за счет уменьшения материалоемкости выпускаемой продукции, повышения ее надежности и качества, продления срока службы изделий. Примером косвенного энергосбережения могут служить широко используемые для подавления или уменьшения скорости коррозии металлоконструкций электрохимические методы.

Во всех случаях экономия энергии имеет смысл, если при использовании любого метода или принципа, направленного на ее экономию, влияние на окружающую среду минимально, человек не испытывает неудобств и за счет эффективного использования энергии получена прибыль.

Физико-технический анализ проблемы должен быть дополнен экологическим и экономическим анализом.

Наконец, в процессе преобразования энергии различные юридические и физические лица, связанные с производством, транспортировкой и потреблением энергии, вступают во взаимные контакты с определенными обязательствами. Их взаимоотношения регламентируются законодательством и относятся к области права.

Таким образом, для решения проблемы эффективного использования энергии необходимо иметь представление и владеть информацией об основах энергетики, экологии, социальной политики, экономики, менеджмента и права,

чтобы, обладая соответствующими знаниями и умениями, реализовывать их на практике.

Одной из составляющих энергетического менеджмента является обеспечение энергетической безопасности развития экономики. Сущность и формы реализации энергетической безопасности во многом зависят от уровня энергетической обеспеченности страны. Например, Республика Беларусь (в отличие от России) относится к категории стран, которые не обладают значительными собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Ежегодные расходы на закупку топлива и электроэнергии составляют около 2 млрд дол. США, что соизмеримо с величиной государственного бюджета Беларуси. При переходе на мировые цены на газ эта сумма может возрасти примерно вдвое. Вместе с тем пример целого ряда стран (таких, как Швейцария, Бельгия, Дания и др.), не обладающих достаточным количеством собственных ТЭР, показывает, что это обстоятельство не является непреодолимым препятствием для достижения высокого уровня экономического развития. Необходимо решение ряда насущных проблем, связанных с энергетическим обеспечением страны, и первой из них является достижение энергетической безопасности. В равной мере это относится и к странам с относительно высоким уровнем самообеспечения энергетическими ресурсами. Изменение мировой конъюнктуры на ископаемое топливо, истощение активных источников его добычи, а главное, необходимость резкого увеличения темпов экономического развития может потребовать несоразмерно высоких удельных капиталовложений.

В будущем проблема энергообеспечения экономики приобретет еще большую остроту. Для того чтобы увеличить в несколько раз производство валового национального продукта (ВНП) на душу населения, не достигая при этом порогового показателя в 10–12 тыс. дол. США, можно (по примеру таких государств, как Венгрия, Польша, Эстония и др.) пойти по пути повышения эффективности использования энергии без значительного возрастания энергопотребле-

ния. Но чтобы перейти в категорию стран с уровнем производства ВНП в десятки тысяч долларов США на душу населения, необходимо (как это следует из табл. В.1) не только значительно повысить энергоэффективность, но и существенно увеличить энергопотребление.

Можно выделить следующие обобщенные факторы повышения энергетической безопасности стран с различным уровнем обеспеченности энергетическими ресурсами.

- ♦ Развитие стратегии, методологии оценки и мониторинг энергетической безопасности.
- ♦ Модернизация и реструктуризация топливно-энергетического комплекса.
- ♦ Расширение списка стран-поставщиков и номенклатуры экспортируемых энергетических ресурсов.
- ♦ Повышение надежности функционирования энергетических установок.
- ♦ Диверсификация топливно-энергетических ресурсов, использование альтернативных источников энергии.
- ♦ Повышение эффективности использования энергии за счет разработки и внедрения новых технологий и оборудования в промышленности, сельском хозяйстве, транспорте и социальной сфере.
- ♦ Реализация существующего потенциала энергосбережения, включая уменьшение потерь энергии, использование вторичных энергетических ресурсов и т.д.
- ♦ Частичная переориентация на собственные топливно-энергетические ресурсы, включая:
 - использование местных видов органического топлива;
 - развитие энергетических источников на ядерном топливе и (или) совместная эксплуатация блоков АЭС пограничных стран;
 - развитие водородной энергетики;
 - использование вторичных энергетических ресурсов;
 - использование биологических отходов (биотоплива) в промышленных масштабах для производства электроэнергии и теплоты;

• развитие нетрадиционных возобновляемых энергетических источников на основе энергии Солнца, водных потоков, ветра и геотермальных вод.

♦ Долевое участие в разработке и эксплуатации и (или) акционирование предприятий энергетического сектора стран-партнеров.

♦ Разработка совместных со странами-партнерами программ повышения коллективной энергетической безопасности.

В качестве дополнительного критерия энергетической безопасности следует рассматривать наличие национальной информационно-аналитической системы, включая подсистемы мониторинга показателей энергетической безопасности, определения текущих пороговых уровней кризисности состояния энергетической безопасности и составления долгосрочных и среднесрочных прогнозов развития энергетической составляющей экономики.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как взаимосвязаны уровень жизни общества и количество потребляемой энергии?
2. Дайте определение понятий энергия, энергетика, энергетические ресурсы.
3. Какие виды энергии известны, как оценивается ее качество?
4. Что включает в себя понятие энергосбережение?
5. Что понимают под эффективным использованием энергии?
6. Чем отличаются активные и пассивные методы энергосбережения?
7. Что означает прямая и косвенная экономия энергии?
8. Перечислите обобщенные факторы энергетической безопасности экономики.

ГЛАВА 1 || ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕРВИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Первичная энергия (первичный энергоресурс) – это энергия, которая содержится в природных источниках и может быть преобразована во вторичную (электрическую, тепловую, механическую) энергию. В балансе первичной энергии на земном шаре можно выделить (рис. 1.1):

- поток солнечной радиации на земную поверхность;
- коротковолновое и длинноволновое (тепловое) излучение в окружающее пространство.

Если коротковолновое излучение связано с прямым отражением солнечной радиации, то длинноволновое излучение является результатом природных процессов и техногенной деятельности человека.

К природным процессам следует отнести:

- прямое преобразование солнечного излучения в теплоту;
- испарение осадков и, как следствие, преобразование в энергию движения водных сред (рек, морских волн и т.п.);
- преобразование первичной энергии в атмосферные течения (ветровая энергия);
- накопление растительной и животной биомассы с последующим разделением ее на тепловую энергию и потенциальную химическую энергию ископаемого топлива;
- поток тепловой энергии от поверхности Земли (включая тепловое излучение и выброс геотермальных вод).

С техногенной деятельностью человека в первую очередь связано преобразование в тепловую энергию химической энергии органического топлива и ядерной энергии. Данные технологии преобразования первичной энергии называются *традиционными технологиями*.



Рис. 1.1. Диаграмма круговорота первичной энергии на земном шаре

В меньшей степени техногенная деятельность человека связана с прямым использованием солнечной энергии и использованием продуктов ее конверсии. Соответственно данные технологии преобразования первичной энергии называются *нетрадиционными технологиями*.

Вместе с тем основной ресурс традиционных технологий преобразования первичной энергии – органическое (твердое, жидкое и газообразное) ископаемое топливо – ограниченный (истощаемый) энергоресурс и возможности его использования не бесконечны во времени. В связи с

этим более оправданным является разделение первичного энергоресурса на *возобновляемый* и *невозобновляемый*.

Оправданность приложения базовых понятий *возобновляемый* или *невозобновляемый* энергоресурс к различным видам носителей первичной энергии во многом связана и с технологической деятельностью человека. Иллюстрацией этого может, в частности, служить использование в энергетических целях древесной биомассы.

1.2. МЕСТНЫЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Общие сведения. Весь комплекс первичных энергоресурсов, ограниченных определенной территорией, объединяется понятием *местные топливно-энергетические ресурсы*.

Безусловно, состав и потенциал местных топливно-энергетических ресурсов различных стран индивидуален и определяется их геологическими и метеорологическими условиями. Соответственно различны схемы и уровень проблем их энергообеспечения.

Вместе с тем существуют общие подходы к реализации концепции энергетической безопасности в странах с высоким и низким уровнем обеспечения высококалорийными видами ископаемого топлива. К последним странам, в частности, относится Республика Беларусь.

Рассмотрим структуру и проблемы формирования топливно-энергетического комплекса в условиях дефицита энергоносителей на примере Республики Беларусь.

Топливно-энергетический комплекс Республики Беларусь включает (рис. 1.2): добычу торфа и производство торфобрикетов, нефтедобычу и нефтепереработку. Также республика располагает запасами бурых углей, сланцев, нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии.

Развитие топливной промышленности республики базируется на местных видах топлива, включая торф, нефть, попутный газ и дрова.

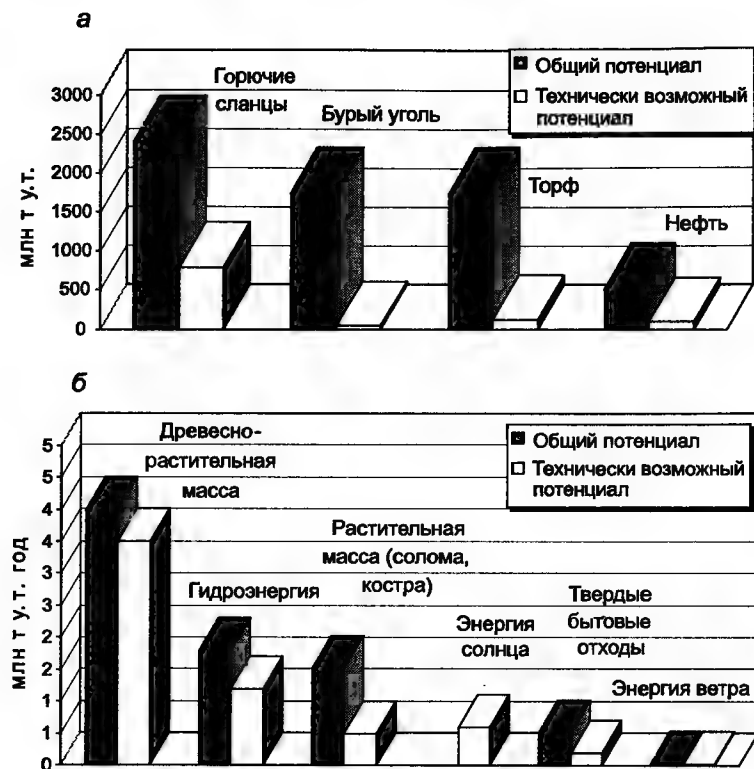


Рис. 1.2. Потенциал невозобновляемых (а) и возобновляемых (б) местных источников энергии в Республике Беларусь

Нефть и попутный газ. Месторождения нефти сосредоточены в Припятской впадине, площадь нефтегазоносной области составляет около 30 тыс. км².

Начальные извлекаемые ресурсы нефти оценены в 362,1 млн т.

В промышленные категории переведено 45 % указанных ресурсов.

С начала разработки добыто 100 млн т нефти и 10,1 млрд м³ попутного газа, остаточные запасы нефти промышленных категорий составят 66,0 млн т, попутного газа – 9,6 млрд м³.

Неразведанные ресурсы нефти оцениваются на уровне 170 млн т.

Основная часть нефти (96 %) добывается из активных остаточных запасов, которые составляют 30,2 млн т (45 %). Объемы добычи нефти (и соответственно попутного газа) в будущем будут постоянно снижаться. Это связано с тем, что разведанные месторождения находятся в заключительной стадии разработки, а вновь осваиваемые характеризуются малыми размерами и небольшими запасами. Кроме того, они относятся к трудноизвлекаемым, и, соответственно, для добычи этой нефти требуются новейшие технологии и оборудование.

Торф. В республике разведано более 9000 торфяных месторождений общей площадью в границах промышленной глубины их залегания 2,54 млн га и первоначальными запасами торфа 5,65 млрд т. К настоящему времени оставшиеся геологические запасы оцениваются в 4,3 млрд т, что составляет 75 % первоначальных. Основные запасы торфа залегают в месторождениях, используемых сельским хозяйством или отнесенных к природоохранным объектам. Ресурсы торфа, включенные в разрабатываемый фонд, оцениваются в 260 млн т, что составляет 6 % оставшихся запасов.

Приведенные данные свидетельствуют, что республика располагает значительными запасами торфа. Однако без пересмотра направлений применения имеющихся ресурсов использование торфа для энергетических целей не реально.

Основным потребителем торфяных брикетов является население. Учитывая имеющиеся ресурсы торфа и то, что брикеты – достаточно дешевый вид топлива, можно говорить о целесообразности поддержания их производства на достигнутом уровне.

Горючие сланцы. Прогнозные запасы горючих сланцев оцениваются в 11 млрд т, промышленные – 3 млрд т. По своим качественным показателям белорусские горючие сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой их зольности и низкой теплоты сгорания. Они

требуют предварительной термической переработки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

Бурые угли. В неогеновых отложениях Беларуси известны три месторождения бурых углей (Житковичское, Бриневское и Тонёжское) с общими запасами 151,6 млн т. Бурые угли – низкокалорийные, поэтому пригодны в основном для использования как коммунально-бытовое топливо после брикетирования совместно с торфом. Разработка угольных месторождений в ближайшей перспективе не рекомендована Республиканской экологической комиссией, поскольку при современном уровне развития технологий их энергетического использования возможный экологический ущерб значительно превысит возможные выгоды замещения экспортируемых энергоресурсов.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. С учетом природных, географических и метеорологических условий Республики Беларусь в качестве нетрадиционных и возобновляемых местных источников энергии можно рассматривать:

- малые гидроэнергетические и ветроэнергетические установки;
- биоэнергетические установки, или установки по производству биогаза;
- гелиоустановки;
- установки для сжигания отходов растениеводства и др.

Хотя эти источники могут в совокупности обеспечивать не более 5 % всей расчетной экономии расхода топлива, их применение очень важно по нескольким причинам:

- во-первых, работы по их использованию будут способствовать развитию собственных технологий и оборудования, которые впоследствии могут стать предметом экспорта;
- во-вторых, эти источники, как правило, являются экологически чистыми;
- в-третьих, их применение само по себе обеспечивает воспитание у людей психологии энергосбережения и энер-

гоэффективности, что будет способствовать переходу от расточительной к рациональной экономике.

1.3. ОРГАНИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

Состав топлива. Твердое и жидкое органическое (ископаемое) топливо в общем случае состоит из углерода, водорода, серы, кислорода, азота, минеральных примесей A и влаги W . Состав топлива в рабочем состоянии, в том виде, в котором оно сжигается, выражается следующим образом:

$$C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100 \% .$$

Если из рассмотрения исключить влагу, такое топливо перейдет в сухое состояние. Состав топлива как горючего материала, не содержащего минеральные примеси и влагу, определяется в сухом беззольном (горючем) состоянии. Горючими компонентами топлива являются углерод, водород и сера. Чем выше содержание углерода в топливе, тем больше выделяется теплоты при его сгорании. С возрастом топлива содержание углерода в нем увеличивается. Кислород, как и остальные элементы, содержится в виде сложных органических соединений. Чем больше в них кислорода, тем большая доля углерода и водорода топлива химически связана с ним. С увеличением возраста топлива доля кислорода уменьшается от 45 % у древесины до 2 % у антрацита в горючем состоянии.

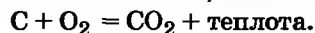
Твердое топливо характеризуется также выходом летучих веществ при его нагреве без доступа воздуха. Летучие вещества выходят в виде газов, смоляных и водяных паров. С увеличением выхода летучих веществ проще зажечь топливо и поддерживать его устойчивое горение. У древесины выход летучих веществ составляет 85–90 %, а у антрацитов – 3–4 %.

Жидкие топлива получают путем переработки нефти. Нефть, жидкое горючее полезное ископаемое, представляет собой в основном сложную смесь углеводородов. Из не-

фти вырабатывают котельное топливо (температура кипения t_k от 330 до 350 °C), дизельное топливо (t_k от 180 до 360 °C), керосин (t_k от 120 до 135 °C), бензин (t_k от 30 до 180 °C) и сжиженный газ с выходом около 1 %.

К газообразному топливу относятся природный газ, попутный и сжиженный газ. В последнее время большое внимание уделяется получению и использованию на основе возобновляемых источников энергии генераторного газа и биогаза. Основным элементом природного газа является метан CH_4 , а также высшие углеводороды C_nH_m , азот N_2 и диоксид углерода CO_2 . Попутный газ получают при добыче нефти. Он содержит больше высших углеводородов. Сжиженный газ получают при первичной переработке нефти и попутных нефтяных газов.

Процесс термической переработки органического топлива. Базовым элементом процесса термической переработки топлива (рис. 1.3) является химическая реакция окисления под названием *горение*:



В результате этой реакции происходит высвобождение связанной химической энергии в виде тепловой энергии, которую и следует рассматривать как полезный эффект процесса горения.

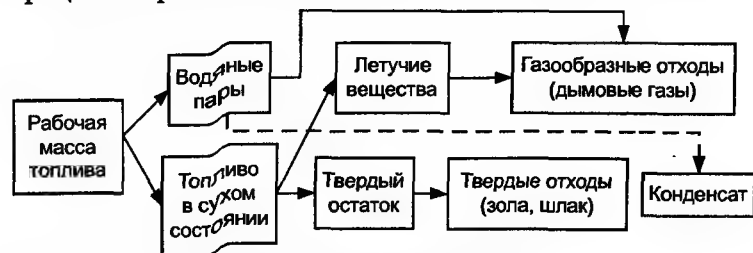


Рис. 1.3. Схема термической переработки топлива

Процесс термической переработки твердого органического топлива включает следующие основные фазы:

- выпаривание начальной влаги из рабочей массы топлива, т. е. его разделение на водяные пары и топливо в сухом состоянии;

- выделение при дальнейшем нагревании топлива летучих горючих компонентов, которые в основном и поддерживают процесс горения.

В результате процесса горения образуется два вида отходов:

- газообразные (дымовые газы);
- твердые (зола, шлак).

Следует сразу же указать, что дымовые газы являются носителем значительного количества остаточной (не использованной в рабочей области протекания процесса термической переработки топлива) тепловой энергии. Поэтому они являются основным объектом энергетического менеджмента в рамках технологий производства вторичной энергии на основе органического топлива.

В большинстве случаев для поддержания процесса горения используется атмосферный воздух. От количества кислорода воздуха зависит эффективность процесса горения и получения теплоты. Теоретически необходимое количество воздуха V_0 для полного сгорания единицы топлива можно приблизительно определить по формуле

$$V_0 = Q_H^p / 3,8, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где Q_H^p — удельная низшая теплота сгорания (калорийность) органического топлива.

Точность расчетов по данной формуле составляет 10–15 %.

Важной характеристикой, определяющей эффективность сжигания топлива, является коэффициент избытка воздуха — отношение количества воздуха V_B , действительно поданного на горение, к теоретически необходимому расходу:

2.1. ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОТЫ

Общие сведения. В традиционной энергетике в качестве первичной энергии используется органическое или ядерное топливо, применение которого позволяет получать теплоту. Теплота может использоваться непосредственно или преобразовываться в другие виды энергии: механическую, электрическую.

Технология производства и транспортировки энергии, равномерность ее потребления в течение суток в значительной мере влияют на эффективность использования первичной энергии – органического топлива.

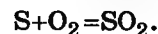
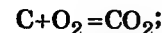
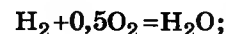
До недавнего времени наибольшее развитие имело направление, связанное с централизованным производством теплоты и электроэнергии. Сейчас получают распространение автономные системы энергоснабжения, включая системы когенерации. *Когенерация* – совместное производство теплоты и электроэнергии на промышленных предприятиях.

Для получения теплоты из органического топлива применяются топочные устройства, а из ядерного топлива – ядерные реакторы, которые соответственно входят в состав котельных установок и промышленных печей, а также ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Топки. Это устройства для сжигания органического топлива с целью получения теплоты.

Тепловое горение топлива представляет собой различные формы протекания сильно экзотермических химических реакций. Химическая природа горения может быть различной. Наиболее распространено кислородное горение, которое применяется при сжигании топлив. Теория горения базируется на совместном рассмотрении уравнений химической кинетики и тепломассопереноса. Исходные и конечные состояния участвующих в реакциях

компонентов можно описать основными стехиометрическими уравнениями реакций горения водорода, углерода и серы:



Технологический процесс термической переработки органического топлива в топке включает ряд последовательных стадий.

В топку (рис. 2.1, а) подается топливо и воздух. В зоне горения топлива выделяется теплота, равная низшей теплоте сгорания топлива Q_{H}^{P} . Часть теплоты используется как полезная энергия $Q_{\text{пол}}$. Другая часть выделившейся теплоты теряется в виде механического недожога $Q_{\text{м}}$ с золой и шлаком, с уходящими газами в виде физической теплоты $Q_{\text{уг}}$ и не прореагировавших горючих компонентов в виде химического недожога $Q_{\text{х}}$, а также через стенки топочного устройства $Q_{\text{с}}$.

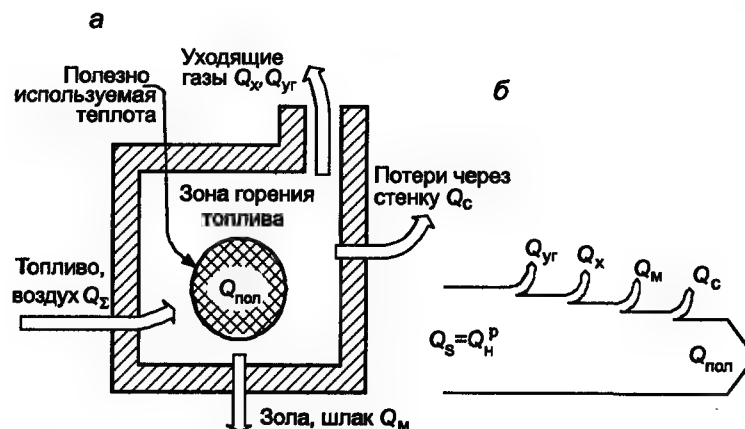


Рис. 2.1. Технологическая схема топки (а) и ее тепловой баланс (б)

Эффективность топki определяется на основании уравнения теплового баланса:

$$Q_H^P = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{уг}} + Q_{\text{х}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{с}}. \quad (2.1)$$

Из уравнения теплового баланса вычисляется коэффициент полезного действия (КПД) топki

$$\eta_T = Q_{\text{пол}} / Q_H^P. \quad (2.2)$$

Тепловой баланс топki можно наглядно представить в виде диаграммы потоков энергии (рис. 2.1, б).

Условия организации сжигания топлива влияют на КПД топki. В первую очередь надо обращать внимание на однородность условий сжигания топлива и на коэффициент избытка воздуха.

По своей конструкции топочные устройства делятся на слоевые топki и камерные топki (рис. 2.2). Рассмотрим принцип их работы.

Слоевые топki применяются для сжигания твердого топлива и по организации процесса горения разделяются

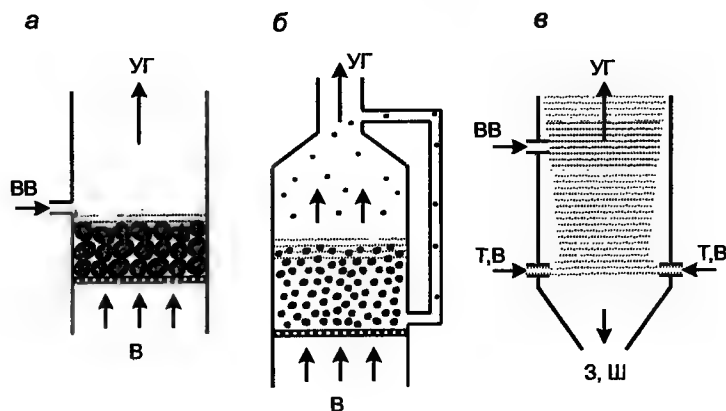


Рис. 2.2. Схемы слоевых топков с плотным (а) и «кипящим» (б) слоями, камерной топki (в); В – воздух; ВВ – вторичный воздух; Т – топливо; З – зола; Ш – шлак; УГ – уходящие газы

на топki с плотным и «кипящим» (псевдо ожиженным) слоями.

В топках с плотным слоем топливо располагается на решетке (колоснике).

В топках с «кипящим» слоем топливо парит в воздухе за счет своей мелкозернистой структуры и повышенной скорости воздуха, что позволяет уравнивать частицы в топочном пространстве.

В топках с плотным слоем зона, в пределах которой полностью исчезает кислород, называется *кислородной*. Ее высота составляет приблизительно три диаметра кусков топлива. Если высота слоя топлива ниже кислородной зоны, то в топку воздух подается с избытком. В противном случае будет присутствовать восстановительная зона, где образуются горючие газы CO и H₂. Для их дожигания требуется подача вторичного воздуха, иначе, как и в первом случае, процесс сжигания топлива будет неэффективным. Обычно толщина слоя топлива немного превышает высоту кислородной зоны.

В топках с «кипящим» слоем скорость воздуха выбирается такой, чтобы сила, действующая на частицу топлива, уравнивала силу тяжести, но была недостаточной для его выноса. Средние размеры частиц составляют 2–3 мм при скорости воздуха 1,5–4 м/с. Это обеспечивает хороший контакт с окислителем во всем объеме. Топки с циркулирующим «кипящим» слоем, когда улавливаются недогоревшие частицы и возвращаются обратно, являются более эффективными и по характеристикам близки к камерным. В топках с «кипящим» слоем эффективно сжигаются горючие отходы и низкосортное топливо.

Камерные топki делятся на факельные и циклонные.

В факельных топках (рис. 2.2, в) сжигается газообразное, жидкое и пылевидное твердое топливо. В процессе сжигания газообразное топливо подается через газовые горелки, в которых готовится топливовоздушная смесь при α_в равном 1,05–1,3. Жидкое топливо подается через форсунки, с помощью которых оно распыляется и смешивается

вается с воздухом при α_v , принимающем значения 1,1–1,3. Камерные топки позволяют сжигать предварительно измельченные отходы углей, древесную пыль. Твердое топливо вдвигается через пылеугольные горелки с первичным воздухом. Вторичный воздух подается отдельно и смешивается с пылью в процессе горения.

В *циклонных топках* используются частицы топлива с диаметром меньше 5 мм при скорости воздуха до 100 м/с, подаваемого в виде закрученного потока. При этом достигаются температуры, близкие к 2000 °С. Данные топки в основном используются как технологические, в том числе и для обезвреживания сточных вод. В некоторых случаях возникают проблемы при удалении шлака, который выходит в жидком состоянии.

Ядерный реактор. Ядерное топливо сжигается в реакторах атомных электростанций и теплоцентралей (рис. 2.3).

При бомбардировке ^{235}U тепловыми нейтронами ядро атома захватывает и поглощает нейтроны, а затем распадается на два осколка. При каждом акте деления в среднем выделяются два-три быстрых нейтрона и энергия 200 МэВ в виде теплоты. В типичной химической реакции ее выделяется менее 10 эВ на атом ($1 \text{ эВ} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Теплота передается теплоносителю в зависимости от конструкции ядерного реактора: воде, водяному пару, газу или жидкому металлу. Для возникновения и поддержания цепного деления необходима загрузка в активную зону ядерного топлива в количестве, равном критической массе. Она зависит от энергии нейтронов, геометрической формы урана, концентрации изотопа ^{235}U и наличия отражателей. Замедлитель служит для уменьшения энергии быстрых нейтронов до тепловых ($\approx 0,025 \text{ эВ}$). Система управления и защиты (СУЗ) служит для управления реактором путем изменения площади поглощающих регулирующих стержней для захвата нейтронов. Биологическая защита обеспечивает безопасность персонала и окружающей среды.

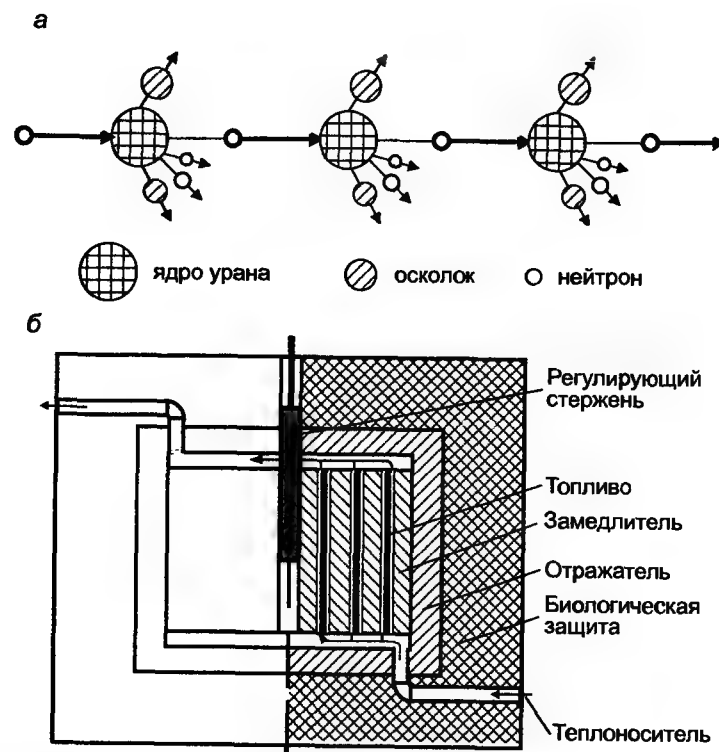


Рис. 2.3. Схема управляемой ядерной реакции (а) и канального ядерного реактора на тепловых нейтронах (б)

Энергетические характеристики топок и ядерных реакторов. Валовой мощностью (производительностью) топki Q_Σ называют произведение часового расхода сжигаемого топлива B и его низшей теплоты сгорания:

$$Q_\Sigma = BQ_{\text{н}}^{\text{п}}. \quad (2.3)$$

Удельная мощность слоевой топki определяет теплонапряженность зеркала горения:

$$q_V = Q_\Sigma / F_{\text{з.г}}, \quad (2.4)$$

где $F_{з.г}$ — площадь горящего на решетке слоя топлива. Величина q_V лежит в пределах $(0,8-2,3) \cdot 10^3$ кВт/м², чаще всего $q_V = 1000$ кВт/м².

Удельная мощность камерной топки определяется тепловым напряжением топочного пространства:

$$q_V = Q_{\Sigma} / V_T, \quad (2.5)$$

где V_T — объем топочного пространства. Величина q_V для факельных топок составляет 140–350 кВт/м³.

Удельную мощность слоевой топки иногда также относят к объему топочного пространства. В ядерном реакторе в качестве «топочного» пространства берется объем активной зоны.

Разновидностью «топок», где сжигается топливо, являются камеры сгорания двигателей внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных установок (ГТУ), реактивных двигателей.

Котлы и печи. Топки входят в состав котельных установок (котлов) и промышленных печей. В котлах полученная теплота передается промежуточной транспортной среде — теплоносителю и с его помощью используется конечными потребителями вне котла в форме теплоты или преобразуется в другие виды энергии (механическую, электрическую). В промышленных печах теплота используется непосредственно для термической обработки сырья и готовой продукции.

Котлы по своему назначению делятся на паровые и водогрейные.

Паровой котел предназначен для производства насыщенного или перегретого пара из воды.

Водогрейный котел предназначен для нагрева воды. Циркуляция теплоносителя в котлах может быть естественной или принудительной. Пар или нагретая вода с давлением выше атмосферного используется вне котла как источник теплоты. Простейший котел представляет собой комбинацию топки и сосуда под давлением, в

котором нагревается вода или генерируется пар (рис. 2.4, а).

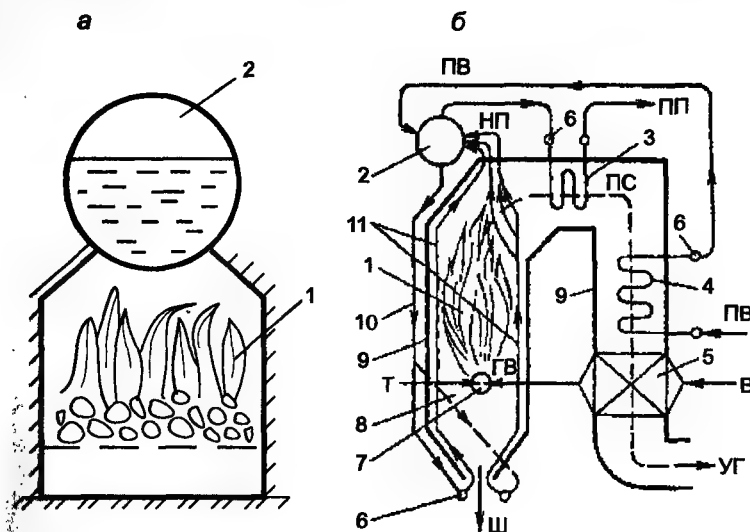


Рис. 2.4. Схемы простейшего (а) и современного (б) паровых котлов:

1 — факел пламени; 2 — барабан; 3 — пароперегреватель; 4 — водяной экономайзер; 5 — воздухоподогреватель; 6 — коллекторы; 7 — горелка; 8 — топка; 9 — ограждающая поверхность; 10 — опускная труба; 11 — экраны; ПВ — питательная вода; НП — насыщенный пар; ПП — перегретый пар; Т — топливо; В — воздух; ГВ — горячий воздух; ПС — продукты сгорания; УГ — уходящие газы

Рассмотрим более подробно принцип работы современного парового котла с естественной циркуляцией (рис. 2.4, б). Теплота, выделяющаяся при сгорании топлива в топках котлов, передается воде или пару. В топку котла подаются топливо и горячий воздух. Из барабана котла по опускным трубам, отделенным от топки экранами (стенками газоходов), вода поступает в парогенерирующие трубы, где нагревается и испаряется. Затем пар поступает в барабан и смешивается с питательной водой. Далее пар направляется в пароперегреватель, где нагревается отходящими газами. Неиспользованная теплота уходящих дымовых газов применяется для предваритель-

- оснащением их электронными регуляторами для подачи топлива и воздуха с оптимальным коэффициентом избытка последнего;

- использованием эффективной изоляции ограждающих поверхностей для снижения потерь теплоты высокотемпературных отходящих газов в производственных и непроизводственных целях;

- применением конденсационных теплообменников на выходе низкотемпературных отходящих газов.

В последнем случае утилизация теплоты позволяет использовать высшую теплоту сгорания топлива. Применение всех перечисленных мер приводит к повышению КПД котлов и печей до 95 %. Такие теплогенерирующие устройства будут близки к совершенству.

2.2. ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Электрическая энергия является наиболее удобным видом энергии как для транспортировки, так и для конечного потребления. В традиционной энергетике для производства электроэнергии используют теплоту, которая вначале преобразуется в механическую работу, а затем в электрическую энергию. Преобразование теплоты в механическую работу осуществляется с помощью тепловых машин: паросиловых установок, ДВС и ГТУ. Эффективность тепловых машин определяет их КПД. Максимальный термический КПД достигается в идеальной тепловой машине, работающей без трения:

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\Sigma}} = \frac{T_r - T_x}{T_r}, \quad (2.8)$$

где T_r – температура источника теплоты, К; T_x – температура приемника теплоты (холодильника), К.

Эффективность реальных тепловых машин определяется также значением КПД, который зависит как от совершенства термодинамического цикла, так и от качества

изготовления машины. Термический КПД цикла увеличивается с ростом разности температур $T_r - T_x$. Здесь ограничением обычно является температура источника, которая определяется свойствами конструкционных материалов. Например, в паровых турбинах на сегодняшний день максимальная температура пара составляет 560 °С. Качество изготовления тепловой машины влияет на КПД из-за потерь при прохождении рабочего вещества по ее тракту, когда имеются дополнительные потери энергии на преодоление сопротивления трения и местных сопротивлений. Кроме того, на эффективность использования энергии первичного источника теплоты в тепловых машинах влияет также трение в перемещающихся сопряженных деталях машин. Для снижения этой отрицательной составляющей применяются смазка и специальные устройства – подшипники.

В настоящее время в Беларуси электроэнергия почти полностью производится на основе преобразования энергии ископаемого топлива. Лишь незначительная доля, составляющая несколько мегаватт, вырабатывается на основе возобновляемых источников (за исключением биомассы). Электроэнергия получается на тепловых (конденсационных) электрических станциях (ТЭС) и теплоэлектроцентралях (ТЭЦ). На ТЭС для конечного потребления производится только электроэнергия, а на ТЭЦ – дополнительно теплота.

В состав технологических схем ТЭС и ТЭЦ (рис. 2.6) входит паросиловая установка с турбиной.

По принципу работы турбины делятся на активные и реактивные.

В *активных турбинах* кинетическая энергия потока пара преобразуется в механическую работу.

В *реактивных турбинах* теплота преобразуется в работу за счет расширения пара.

В соответствии со вторым законом термодинамики в механическую работу может быть преобразовано до 45 – 46 % теплоты, так как часть ее необходимо отдавать холодильнику, которым служит окружающая среда. Поэтому

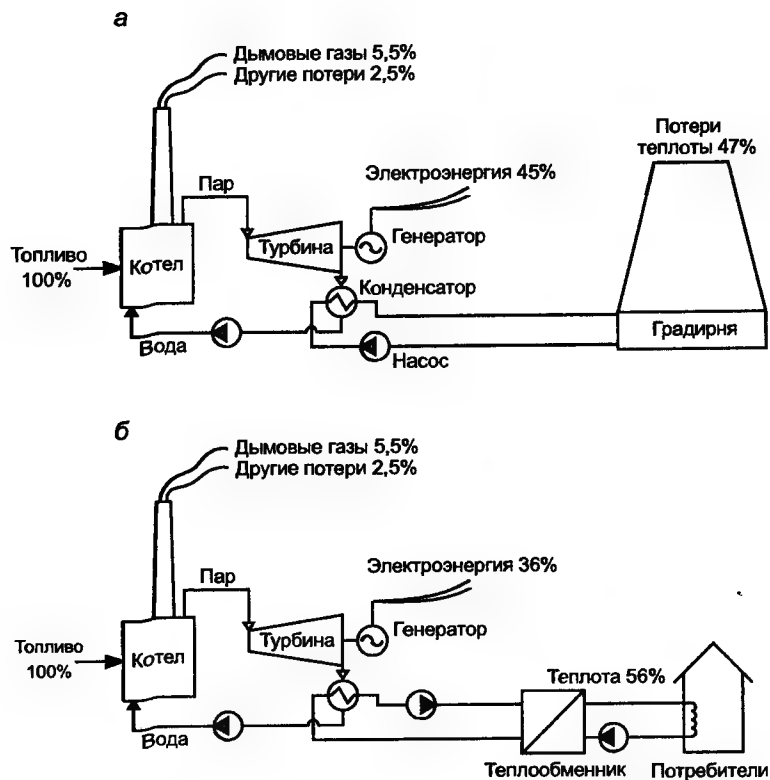


Рис. 2.6. Принципиальные схемы ТЭС (а) и ТЭЦ с противодавленческой турбиной (б)

при производстве на ТЭС только электроэнергии КПД использования первичного топлива не превышает 45 %. Оставшаяся часть энергии не используется, отводится от конденсатора и передается окружающей среде с помощью системы охлаждения водой (47 %), дымовыми газами (5,5 %), через ограждающие стенки котлов и трубопроводы (2,5 %). Такая схема позволяет достичь максимума выработки электроэнергии за счет приближения температуры рабочего вещества в холодильнике (конденсаторе) к температуре окружающей среды.

Если повысить температуру рабочего вещества в охладителе выше 100 °С, то охлаждающая вода будет иметь температуру, которая позволит использовать отработанную теплоту в тепловой машине для нужд теплоснабжения. При этом КПД использования энергии первичного топлива может достигать 92 % в ТЭЦ с противодавленческими турбинами (рис. 2.6, б). Из них 36 % приходится на электроэнергию, а 56 % – на теплоту. Причем это соотношение остается постоянным, что не всегда является оптимальным, так как потребности в электричестве и теплоте изменяются в течение суток, недель и сезонов.

Недостаток ТЭЦ с противодавленческими турбинами может быть преодолен на экстракционных ТЭЦ с турбинами, оснащенными устройствами отбора пара. На экстракционных ТЭЦ отпуск теплоты потребителям может изменяться в широких пределах – от его прекращения до максимального значения, соответствующего ТЭЦ с противодавленческой турбиной. Таким образом, экстракционная ТЭЦ занимает промежуточное положение между ТЭС и ТЭЦ с противодавленческой турбиной, что позволяет гибко удовлетворять нужды потребителей в соответствии с графиками тепловой и электрической нагрузок и в то же время добиваться энергосберегающего эффекта за счет более эффективного использования энергии первичного топлива.

Схема получения теплоты и электроэнергии на атомных электрических станциях (АЭС) и теплоэлектроцентралях (АТЭЦ) отличается лишь способом генерирования теплоты, которая высвобождается в ядерном реакторе, а затем передается рабочему веществу паротурбинной установки. В зависимости от теплоносителя, используемого в реакторе, конструкции ядерных энергоустановок могут быть одно-, двух- или трехконтурными.

Одноконтурные схемы ядерных энергоустановок применяются в АЭС с газовыми и водяными реакторами, двухконтурные – в АЭС с водо-водяными реакторами, а трехконтурные – в АЭС с жидкометаллическим теплоносителем. Пример одно- и двухконтурной схемы АЭС дан на рис. 2.7. Дополнительные контуры ядерных энергетических устано-

вок требуются для предотвращения выноса радионуклидов в последний контур с теплосиловым оборудованием. Они обеспечивают безопасную работу АЭС.

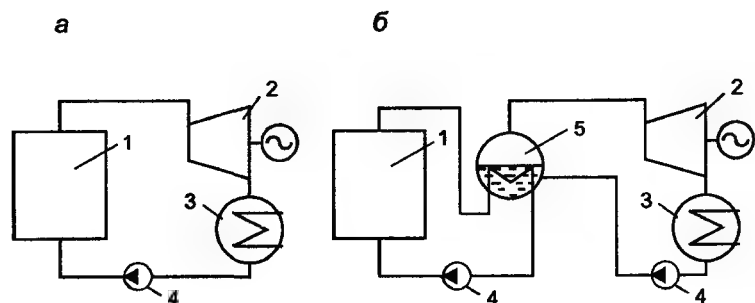


Рис. 2.7. Принципиальная схема одноконтурной (а) и двухконтурной (б) АЭС: 1 – реактор; 2 – турбогенератор; 3 – конденсатор; 4 – циркуляционный насос; 5 – парогенератор

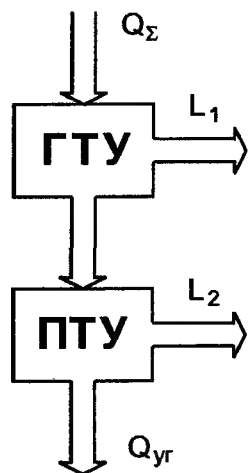


Рис. 2.8. Схема работы ПГУ

схемы на ТЭЦ увеличивается средняя температура подвода и уменьшается средняя температура отвода теплоты, что приводит к росту производимой полезной работы

В настоящее время на ТЭС и ТЭЦ наряду с паротурбинными установками (ПТУ) получают распространение парогазовые установки (ПГУ), работающие по комбинированной схеме (рис. 2.8).

В первой ступени ПГУ с газовой турбиной в качестве первичного источника энергии и рабочего тела используется природный газ, а вторичным рабочим телом являются продукты сгорания. Во второй ступени источником энергии служат выхлопные газы турбины, а рабочим телом – пар, генерируемый в парогенераторе с их помощью. За счет реализации такой

$L = L_1 + L_2$ и доли выработки электроэнергии с 36–45 до 38–55 %. Парогазовая установка, работающая по аналогичной схеме, построена и эксплуатируется на Оршанской ТЭЦ.

2.3. АВТОНОМНОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

В определенных случаях автономное энергоснабжение с использованием мини-котельных и малых ТЭЦ является более эффективным, чем централизованное. При таком подходе в качестве топлива наряду с ископаемым могут использоваться горючие отходы промышленности и сельского хозяйства: древесные отходы, старые покрышки, солома, лигнин и др. В настоящее время как в Беларуси, так и за рубежом производится большое количество разного оборудования для автономного энергоснабжения, которое монтируется в непосредственной близости от потребителей. Беларусь выпускает котлы и котельные установки различных модификаций: блочно-модульные, крышные. Их применение позволяет снизить потери теплоты при ее транспортировке и вовлечь в оборот топливо с небольшой теплотой сгорания (до 10 МДж/кг), повышенной влажностью и зольностью. КПД таких энергоустановок несколько ниже, чем крупномасштабных, и составляет $\approx 85\%$.

Многие промышленные предприятия потребляют на технологические нужды тепловую энергию, генерируемую в виде пара. Они также используют электроэнергию, необходимую для технологических потребителей, освещения, систем сжатого воздуха, вентиляции и кондиционирования воздуха в зданиях и других нужд.

Как правило, пар генерируется в производственных котельных, а электроэнергия поставляется централизованно. Однако современные технологии позволяют на предприятиях наряду с выработкой пара совместно производить и электроэнергию. Такое направление в промышленной энергетике называют когенерацией. Например, в США за последние 10 лет более чем половина введенных

мощностей новых энергоустановок связана с когенерацией. Эти установки сейчас производят 9 % электроэнергии.

Имеется три типа базовых когенерационных систем:

- с двигателем внутреннего сгорания;
- с паротурбинной установкой;
- с газотурбинной установкой.

Каждая из этих систем характеризуется коэффициентом выработки электроэнергии $C_э$, определяемым отношением электрической мощности к тепловому потоку технологического пара, диапазоном мощностей ΔN установок, типичной мощностью системы N и типом используемого топлива (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Параметры базовых систем когенерации

Характеристика	Тепловая машина когенерационных систем		
	ДВС	ПТУ	ГТУ
$C_э$	больше 1	0,1–0,2	0,6–1,0
ΔN , МВт	0,01–16	0,01–400	0,02–300
N , МВт	1	10	5
Топливо	Бензин, дизельное топливо, природный газ, биогаз	Природный газ, уголь, нефть, биомасса, древесина, твердые бытовые и промышленные отходы	Природный газ, керосин

Первая система представляет собой ДВС, в котором механическая работа преобразуется в электроэнергию, а теплота выхлопных газов используется для генерации пара с давлением не выше 0,207 МПа. Данный тип когенерационной системы характеризуется высоким коэффициентом выработки электроэнергии.

Рассмотрим схему когенерационной системы на базе ПТУ (рис. 2.9, а). Она включает котел для генерирования пара высокого давления (303 МПа) с температурой 600 °С и противодавленческую турбину, которая выполняет функции редукционного устройства для снижения давления пара. После турбины пар поступает на технологические нужды. При необходимости часть пара из котла, минуя турбину, проходит через редуктор и также направляется на технологические нужды. В связи с отсутствием конденсатора, а следовательно, и дополнительных потерь КПД данной системы может составлять 95–96 %.

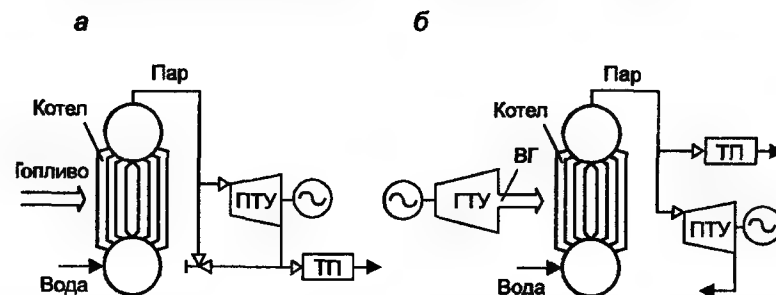


Рис. 2.9. Схемы систем когенерации с паротурбинной (а) и газотурбинной (б) установками:

ТП – технологические потребители пара; ВГ – выхлопные газы

В когенерационной системе на базе ГТУ (рис. 2.9, б) для производства пара в качестве источника теплоты используются отработанные газы. Данная система требует высококачественного топлива. Она может быть комбинированной и дополнительно включать паровую турбину. Тогда объем генерируемой электроэнергии возрастает и коэффициент ее выработки $C_э$ может достигать значения, равного 1,5.

Таким образом, если потребность в технологическом паре уменьшается, может больше вырабатываться электрической энергии, которая при избытке передается внешним потребителям. Такая технология способствует повышению эффективности использования первичной энергии.

Система когенерации уменьшает стоимость топливной составляющей на 30–40 % в зависимости от цены энергии. Одна из таких систем на базе ПТУ внедрена и работает на Слонимском картонно-бумажном заводе.

2.4. ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Потребление тепловой и электрической энергии происходит неравномерно в течение суток, недели, года. Это связано с особенностью работы промышленных, коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потребителей, электротранспорта.

Характер изменения потребления энергии удобно представлять в виде графиков тепловой и электрической нагрузок. Различают *хронологические* (календарные) *графики* и *графики продолжительности нагрузки* (рис. 2.10).

Первый, с характерными максимумами и минимумами, отражает последовательность изменения нагрузки во времени. Второй показывает продолжительность времени, в течение которого имеются те или иные нагрузки. Например,

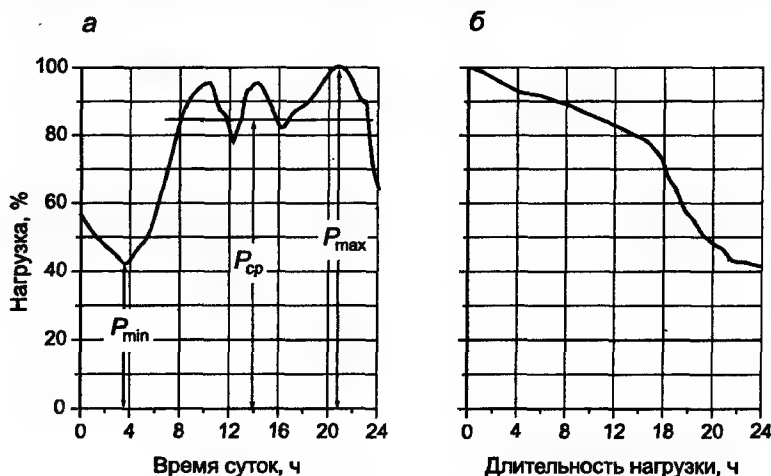


Рис. 2.10. Суточные хронологический график (а) и график продолжительности (б) нагрузки

минимальная нагрузка имеет место в течение всех 24 ч суток. Кроме суточных строят также недельные, месячные и годовые графики максимумов нагрузок.

В зависимости от решаемых задач графики нагрузок могут характеризовать потребление энергии в энергетической системе в целом, отдельными потребителями в системе, отдельно на промышленном предприятии.

Изменение нагрузок может носить статический и динамический характер.

Статические нагрузки являются повторяющимися при неизменных составах потребителей и режимах потребления энергии.

Динамические нагрузки определяются изменением состава потребителей и режима потребляемой ими энергии.

Энергоустановки должны бесперебойно обеспечивать потребителей необходимым количеством энергии в соответствии с графиками нагрузок. Избыток электрической энергии можно передавать в сеть, в то время как теплоты должно производиться столько, сколько требуется потребителю. Иначе будут иметь место ее непроизводительные потери.

Наличие графиков нагрузки позволяет планировать оптимальную работу энергоустановок, которые имеют максимальный КПД на номинальном режиме. Это такой режим, который обеспечивает максимальную выработку энергии при минимальном потреблении первичной энергии в виде топлива.

Для того чтобы работа энергоустановок была эффективной, их разделяют по продолжительности работы на базовые, пиковые и полупиковые.

Базовые энергоустановки работают 6000–7000 ч в году, т. е. практически постоянно. Они обеспечивают при работе на номинальном режиме покрытие части графика нагрузки с минимальным потреблением энергии $P_{\min}$.

Пиковые энергоустановки работают периодически до 2000 ч в год и запускаются для покрытия нагрузки в зоне между максимальной $P_{\max}$ и средней P_{cp} нагрузками.

Полупиковые энергоустановки покрывают часть графика в области между $P_{\text{ср}}$ и P_{min} .

Кроме того, маневренность в выработке энергии повышается, когда энергетические установки имеют блочное исполнение. Отдельные блоки могут работать в пиковом режиме.

Комплексное применение базовых и пиковых энергоустановок, в том числе и в блочном исполнении, позволяет наиболее эффективно использовать первичную энергию топлива, так как они работают в оптимальном режиме покрытия нагрузок с максимальным КПД.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как называются устройства для сжигания топлива и как они классифицируются?
2. Назовите составляющие теплового баланса топки.
3. Какова особенность сжигания топлива в слоевых топках? Какова особенность сжигания топлива в факельных топках? Какие виды топлива в них можно сжигать?
4. Как работает ядерный реактор? Какие процессы в нем реализуются?
5. Какими количественными параметрами характеризуются топки? По каким формулам их можно рассчитать?
6. Принадлежностью каких агрегатов, установок и устройств являются топки?
7. Чем отличаются котельные установки от промышленных печей?
8. За счет чего можно добиться в котельных установках и печах более эффективного использования первичной энергии топлива?
9. Чем различаются ТЭЦ и ТЭС? Какие энергетические установки вы еще знаете?
10. Что такое когенерация? Назовите виды когенерационных систем.
11. Как повысить эффективность использования первичной энергии топлива при выработке электрической энергии?
12. Для каких целей используются графики тепловых и электрических нагрузок? Назовите виды графиков нагрузок.

ГЛАВА 3

ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

3.1. ПОТЕНЦИАЛ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Возобновляемый энергетический ресурс – постоянно действующие или периодически возникающие потоки энергии в результате естественных природных процессов.

Первоначально в качестве возобновляемого источника энергии человек использовал мускульную силу, как свою, так и животных. В настоящее время используются солнечное излучение, энергия планетарного движения в виде приливов и отливов, энергия химических реакций и радиоактивного распада в недрах Земли, проявляющаяся в виде геотермальных источников. К возобновляемым источникам также относится преобразованная энергия Солнца в виде гидроэнергии, энергии ветра и биомассы.

Согласно прогнозам Мировой энергетической комиссии о перспективах использования возобновляемых источников энергии (табл. 3.1) главенствующая роль принадлежит биомассе. К перспективным возобновляемым источникам энергии следует отнести также гидроэнергию, энергию ветра и Солнца.

Геотермальные воды в качестве промышленного источника энергии в настоящее время не рассматриваются, поскольку представляют собой рассолы с большой концентрацией солей.

Таблица 3.1

Оценка возможной доли возобновляемых источников энергии в мире

Ресурсы возобновляемых источников энергии	2020 г. (min)		2020 г. (max)	
	млн т у. т.	% к итогу	млн т у. т.	% к итогу
1	2	3	4	5
Биомасса	350	47	800	43
Солнечная энергия	150	20	510	28

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5
Ветровая энергия	120	16	310	17
Геотермальная энергия	60	8	130	7
Малые и мини-ГЭС	70	9	100	5
Итого	750	100	1850	100
Процент общих энергетических потребностей	—	3–4	—	8–12

Характерной особенностью возобновляемых источников является то, что потоки энергии могут быть использованы лишь частично. Кроме того, они от большинства возобновляемых источников поступают периодически, что является их неотъемлемым свойством. Каждый из этих источников также характеризуется набором дополнительных параметров, которые влияют на интенсивность потоков энергии. Например, периодичность энергии ветра составляет один год, а определяющими параметрами являются скорость ветра и высота размещения оси ветродвигателя.

Энергетика на возобновляемых источниках энергии должна ориентироваться только на существующие ресурсы для данного региона. Масштабному их использованию должен предшествовать тщательный мониторинг, поскольку необходимо знать мощность источников и потребности региона в энергии, в том числе структурные.

Периодический характер потоков энергии во времени не всегда согласуется с реальными потребностями в энергии (рис. 3.1).

Максимум поступления энергии приходится на летние месяцы и дневное время. Наибольшая же потребность в теплоте — на зиму, утреннее и вечернее время.

Географическое положение региона также влияет на интенсивность и регулярность потоков возобновляемой энергии. Например, скорость ветра в прибрежных зонах морей и океанов выше, чем в континентальных.

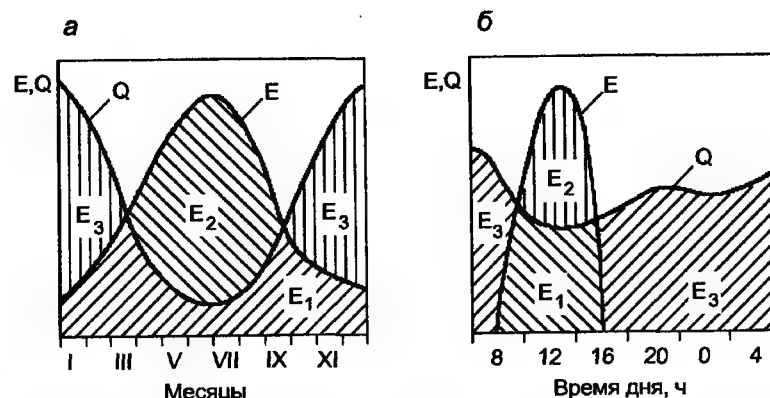


Рис. 3.1. Годовой (а) и суточный (б) графики поступающей солнечной энергии E и тепловой нагрузки теплоснабжения здания Q :

E_1 — используемая солнечная энергия; E_2 — избыток солнечной энергии; E_3 — дефицит солнечной энергии

Плотность потоков энергии от невозобновляемых источников намного выше, чем от возобновляемых. В паровых котлах она равна 100 кВт/м^2 , в ядерных реакторах — от 2 до 5 МВт/м^2 , а для солнечного излучения и ветра со скоростью, приблизительно равной 10 м/с , она составляет 1 кВт/м^2 .

Необходимость и возможность развития энергетики на возобновляемых источниках в Беларуси обусловлены:

- дефицитом традиционных невозобновляемых источников энергии;
- благоприятными метеоклиматическими условиями для использования некоторых видов возобновляемых источников энергии;
- наличием промышленной базы для производства оборудования.

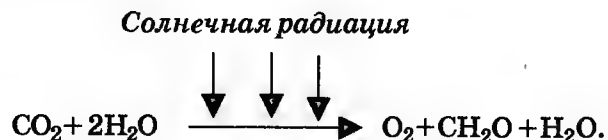
3.2. БИОМАССА

Методы конверсии биомассы. Сложный комплекс веществ, из которых состоят растения и животные, принято называть биомассой.

Основа биомассы — органические соединения углерода, которые в процессе взаимодействия с кислородом при сго-

рании или в результате естественного метаболизма выделяют теплоту.

Первоначальная энергия биомассы возникает в процессе фотосинтеза под действием солнечного излучения. В обобщенном виде эту реакцию можно представить следующим образом:



Среди основных энерготехнологических методов переработки биомассы можно выделить (рис. 3.2):

- термохимический метод;
- биохимический метод;
- агрохимический метод.

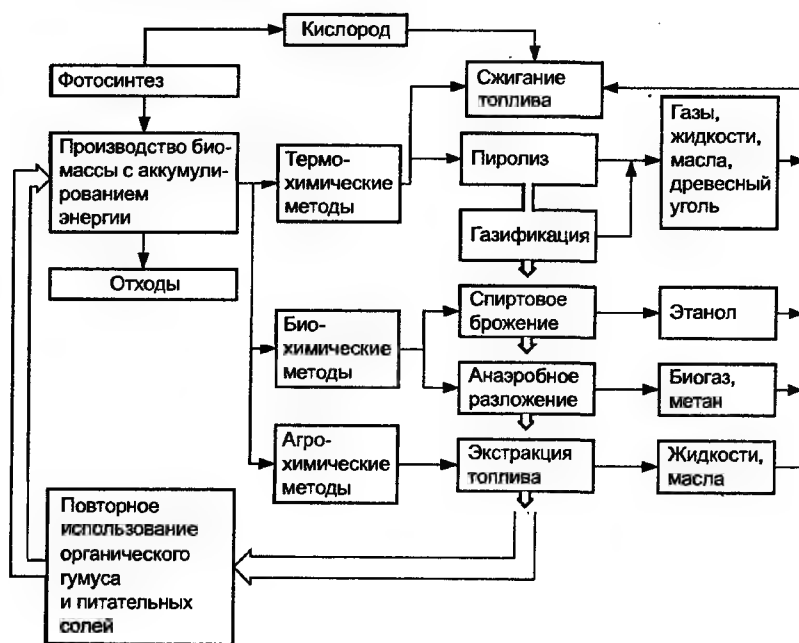


Рис. 3.2. Классификация основных типов энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы

Термохимический метод переработки биомассы. Пиролиз – процесс нагревания биомассы либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. КПД процесса пиролиза достигает 80–90 %.

В качестве исходного энергетического продукта в процессе пиролиза могут использоваться:

- органическое топливо (уголь, сланцы, торф и т. д.);
- древесные отходы;
- сельскохозяйственные отходы (солома, ботва растений и т. п.);
- биобрикеты и т. д.

Состав получаемых при этом вторичных энергетических продуктов чрезвычайно разнообразен. Изменение состава продуктов пиролиза зависит от температурных условий, типа вводимого в процесс сырья, способов ведения процесса. Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, имеют несколько меньшую по сравнению с исходной биомассой суммарную энергию сгорания, но отличаются большей универсальностью применения:

- лучшей управляемостью процесса горения и соответственно повышением его энергоэффективности;
- большей технологичностью, более широким диапазоном возможных потребителей и соответственно более высокими экономическими и качественными показателями.

Газификация – способ ведения процесса пиролиза, при котором основным энергетическим продуктом является горючий газ.

Газогенератор – устройство, в котором реализуется процесс газификации (рис. 3.3).

В состав образующегося в газогенераторе *генераторного газа* входят следующие горючие компоненты: окись углерода, водород, газообразные углеводороды, метан.

Процесс газификации включает такие последовательные фазы, как сушка, пиролиз (коксование) и собственно газификация топлива.

В зоне сушки происходит выпаривание начальной влаги из поступающего в газогенератор топлива за счет остаточной теплоты уходящего генераторного газа.

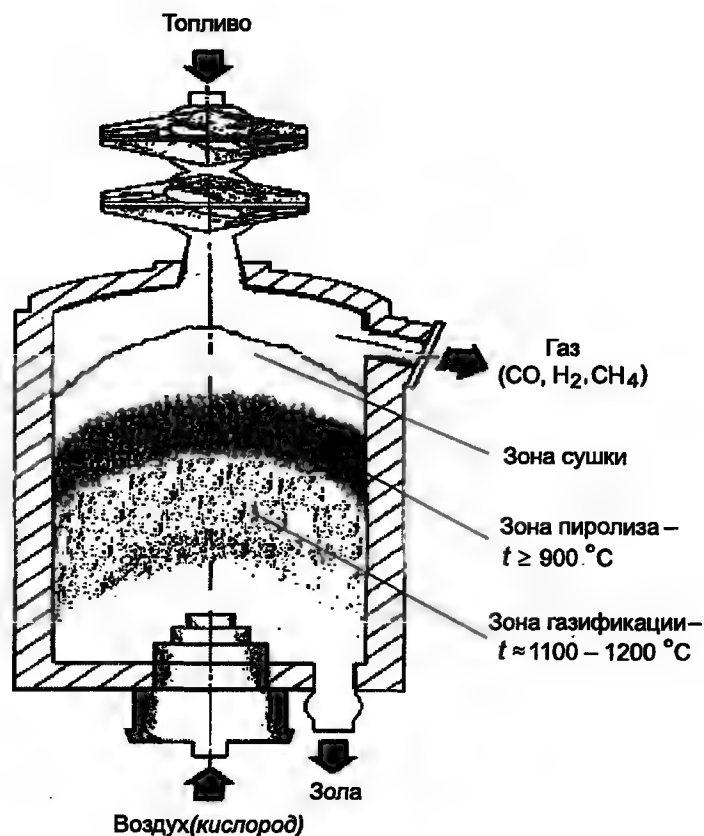
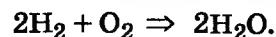
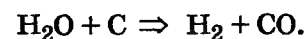
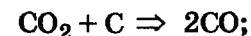


Рис. 3.3. Конструкция промышленного газогенератора

В зоне пиролиза при температуре до 800 °C от топлива отделяются легкие газообразные фракции, самой важной из которых является метан (CH_4). Закоксовавшееся в зоне пиролиза топливо сначала реагирует с кислородом, находящимся в свежем воздухе, образуя двуокись углерода и водяной пар:



В зоне газификации при температуре свыше 900 °C CO_2 и H_2O продолжают реагировать с углеродом, образуя окись углерода и водород, которые являются активно горящими газами:

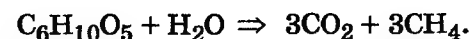


Следует указать, что верхняя граница температуры прохождения реакции газогенерации ограничена значениями 1100–1200 °C (температура плавления золы).

Биохимический метод переработки биомассы. Анаэробное разложение – процесс получения энергии из биомассы микроорганизмами (анаэробными бактериями) в отсутствие или при недостатке кислорода и света. Полезный энергетический продукт этого процесса – биогаз.

Биогаз – смесь углекислого газа (CO_2) и метана (CH_4). Энергетическая эффективность процесса сжигания биогаза может достигать 60–90 % эффективности сжигания сухого исходного материала.

Основное уравнение, описывающее процесс анаэробного разложения биомассы (на примере целлюлозы) имеет следующий вид:



Биогазогенератор – устройство, в котором реализуется процесс преимущественного получения CH_4 посредством анаэробного разложения исходной биомассы. Конструкции биогазогенераторов отличаются чрезвычайным разнообразием как по организации собственно технологического процесса анаэробной переработки биомассы, так и по составу исходного продукта (рис. 3.4).

Спиртовая ферментация – процесс получения этилового спирта в качестве энергетического продукта. Этиловый спирт (этанол) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина.

- сок растений – сок каучука;
- продукты переработки отходов растений – масла и растворители до 15 % сухой массы (например, скипидар, канифоль, маслянистые смолы и т. д.).

Возможна организация ферм по производству агрохимических топлив на основе перечисленных выше растений. Вместе с тем получаемые таким образом продукты по своим химическим свойствам могут быть гораздо ценнее, чем просто топливо.

В связи с этим более предпочтительным представляется способ получения агрохимических топлив, который основан на культивировании специализированных микроводорослей. Исследования возможности использования микроводорослей в процессе экстракции топлив показали, что содержание в них углеводов – основного горючего компонента – может быть довольно значительным. Так, в сухих клетках зеленой расы микроводоросли «ботриококкус браунии» содержится от 1 до 36 % углеводов, а в сухих клетках коричневой расы – до 86 %. Предполагается, что залежи нефти обязаны своим происхождением предкам именно этих микроводорослей. Углеводы, вырабатываемые «ботриококкус браунии», в основном локализованы на наружной поверхности клетки и могут быть удалены механическими методами. Оставшуюся биомассу можно подвергнуть гидрокрекингу, в результате которого получают 65 % газа, 15 % авиационного топлива, 3 % остаточных масел.

3.3. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Упоминание об использовании энергии воды на водяных мельницах для помола зерна и дутья воздуха при выплавке металла относится к концу II в. до н. э.

В Европе гидроэнергия широко применялась в X–XIII вв. Так в XI в. в Англии и Франции одна мельница приходилась на 250 человек. В это время сфера применения мельниц расширилась. Они стали использоваться в сукновальном производстве, при варке пива, распилке леса, для работы

откачивающих насосов, на маслобойнях. В XVIII в. во всех странах Европы, включая Россию, технологический уклад был основан на использовании водяных колес.

В настоящее время использование энергии воды по-прежнему остается актуальным, а основным направлением является производство электрической энергии. К нетрадиционной энергетике относят мини-ГЭС и малые ГЭС с установленной мощностью от 2 кВт до 25 МВт, для которых во многих странах производится стандартизованное оборудование.

Источником гидроэнергии является преобразованная энергия Солнца в виде запасенной потенциальной энергии воды, которая затем преобразуется в механическую работу и электроэнергию. Действительно, под действием солнечного излучения вода испаряется с поверхности озер, рек, морей и океанов. Пар поднимается в верхние слои атмосферы, образуя облака; затем он, конденсируясь, выпадает в виде дождя, пополняя запасы воды в водоемах.

Потенциал гидроресурсов определяется объемным расходом потока Q (м³/с) и высотой падения потока или напором H (м). Максимальная мощность P_0 (Вт), развиваемая потоком падающей воды без учета потерь напора,

$$P_0 = \rho g H Q, \quad (3.1)$$

где ρ – плотность, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Преобразование потенциальной энергии воды в электрическую производится на гидроэлектростанции (рис. 3.5).

Поддержание постоянного напора H осуществляется с помощью плотины, которая образует водохранилище, служащее аккумулятором гидроэнергии. В связи с этим при строительстве ГЭС предъявляются определенные требования к рельефу местности, который должен позволить организовать водохранилище и создать требуемый напор за счет плотины. Все это связано со значительными затратами, и стоимость строительных работ может превышать

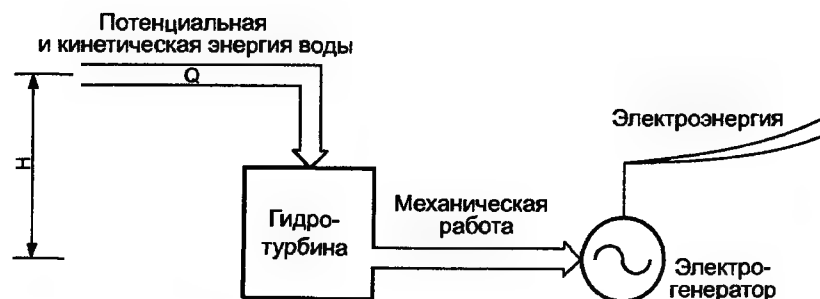


Рис. 3.5. Схема гидроэлектростанции

стоимость оборудования ГЭС. Вместе с тем удельная стоимость электроэнергии, генерируемой ГЭС, является самой низкой по сравнению с себестоимостью энергии, производимой другими источниками. Как правило, срок окупаемости малых ГЭС не превышает 10 лет.

Для преобразования энергии воды в механическую работу используются гидротурбины (рис. 3.6).

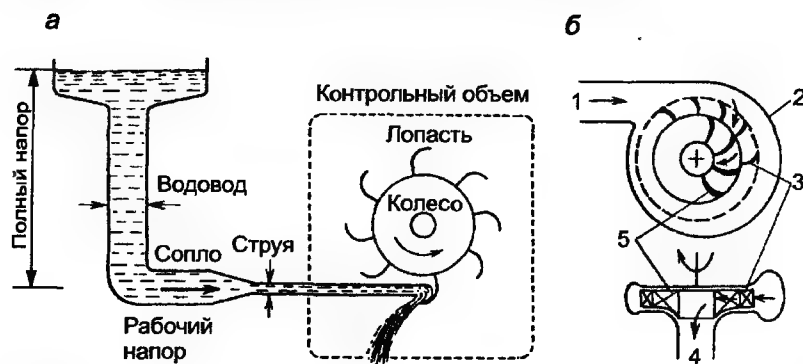


Рис. 3.6. Схемы активной (а) и реактивной радиально-осевой (б) гидротурбин:

1 – вход; 2 – спиральная камера; 3 – неподвижные лопасти направляющего аппарата; 4 – выход; 5 – вращающиеся лопасти

Различают активные и реактивные гидротурбины.

В *активной турбине* кинетическая энергия потока преобразуется в механическую. Дополнительные устройства, обеспечивающие работу турбины, – водовод и сопло.

Из сопла выходит струя, обладающая кинетической энергией, которая направляется на лопасти турбины, находящейся в воздухе. Сила, действующая со стороны струи на лопасти, приводит во вращение колесо турбины, с валом которого непосредственно или через привод сопряжен электрогенератор. КПД реальных турбин колеблется от 50 до 90 %. В гидротурбинах малой мощности КПД ниже. Максимальное значение КПД, равное 100 %, может быть достигнуто, если струя после взаимодействия с лопатками будет двигаться вертикально вниз только под действием силы тяжести. КПД активной гидротурбины может быть повышен за счет ограниченного увеличения числа сопел, так как при большом их количестве будет сказываться взаимное влияние струй.

В *реактивной гидротурбине* рабочее колесо полностью погружено в поток, который постоянно воздействует на лопасти турбины. В наиболее распространенной турбине Фрэнсиса вращение колеса осуществляется за счет разности давлений потока на входе и выходе. Вода поступает в рабочее колесо радиально. Зазор между рабочим колесом и камерой – переменный. После взаимодействия потока с колесом он разворачивается на 90°. Переменный зазор и поворот потока повышают эффективность турбины. Имеются и другие конструктивные решения реактивных гидротурбин, например пропеллерная гидротурбина Каплана. Однако этот тип турбин распространен в меньшей степени из-за больших перепадов давления.

Полный КПД гидроэлектростанции определяется потерями в водоводе и в каналах, турбине и генераторе. Рабочий напор определяется по соотношению

$$H_b = H_t - H_f, \quad (3.2)$$

где H_t – полный напор; H_f – потери на трение в водоводах и каналах. Рекомендуются, чтобы $H_f \leq H_t/3$.

В общем случае полный КПД гидроэлектростанции определяется по соотношению

$$\eta = \frac{P_{\text{э}}}{P_0} = \frac{H_{\text{в}}}{H_{\text{т}}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{э}}, \quad (3.3)$$

где $P_{\text{э}}$ – мощность, снимаемая с клемм электрогенератора; $\eta_{\text{м}}$ – механический КПД турбины; $\eta_{\text{э}}$ – электрический КПД генератора.

КПД современных турбогенераторов не превышает 86 %.

3.4. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Технологическая схема ветроэнергетических установок. Лежащая в основе ветроэнергетических установок (ВЭУ) энергия воздушных течений является результатом конверсии солнечной энергии и соответственно может быть отнесена к возобновляемым источникам первичной энергии.

Использование ветроэнергетических установок для производства электрической энергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра.

Основными элементами ветроэнергетических установок (рис. 3.7) являются ветровое колесо, электрогенератор, система управления параметрами генерируемой электроэнергии в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения ветрового колеса.

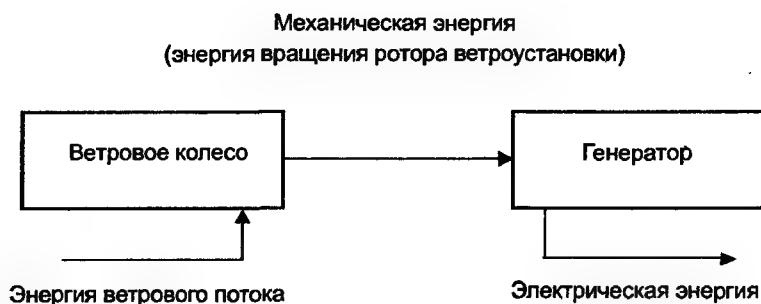


Рис. 3.7. Технологическая схема ветроэнергетической установки

Введение в состав ВЭУ систем управления параметрами генерируемой энергии связано с необходимостью удовлетворения требованиям к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии в зависимости от особенностей ее потребителей. Эти требования жесткие при работе ВЭУ в рамках единой энергосистемы и достаточно мягкие при использовании энергии ВЭУ в осветительных и нагревательных установках.

Одним из способов управления электроэнергией ВЭУ является выпрямление переменного тока ВЭУ и затем преобразование его в переменный ток с заданными стабилизированными параметрами. Так как периоды безветрия неизбежны, то для исключения перебоев в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы электрической энергии или подключаться параллельно с ветроэнергетическими установками других типов.

Принцип действия и классификация ВЭУ. Первичным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является ветровое колесо.

Вращение ветрового колеса под действием ветра обуславливается тем, что на него действует результирующая сила F , которую можно разложить на две составляющие (рис. 3.8):

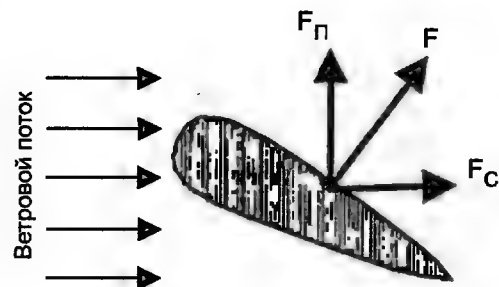


Рис. 3.8. Силы, действующие на тело, обтекаемое ветровым потоком

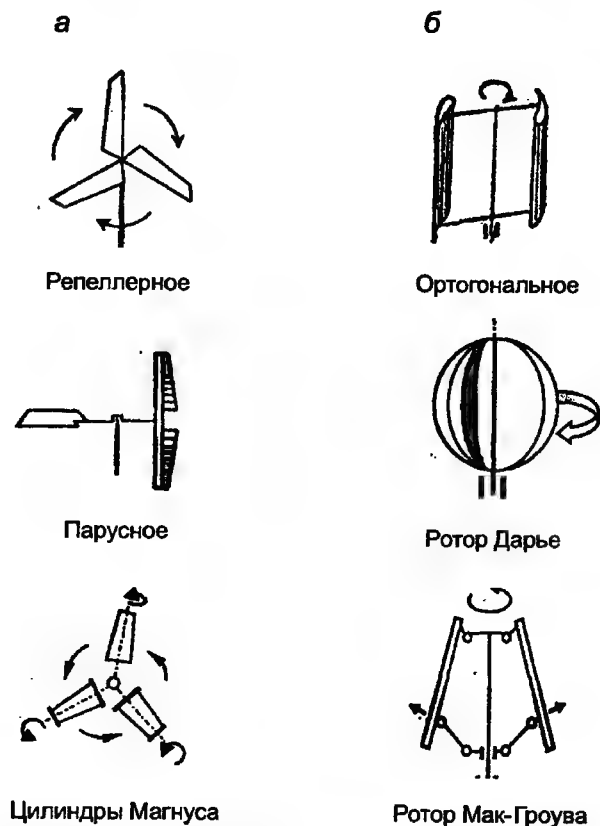


Рис. 3.9. Классификация ветроэнергетических установок по типу исполнения и ориентации ветровых колес: а – ветровые колеса с горизонтальной осью вращения; б – ветровые колеса с вертикальной осью вращения

- вдоль скорости набегающего ветрового потока – сила лобового сопротивления F_c ;
- в направлении, перпендикулярном скорости набегающего ветрового потока, – подъемная сила F_{Π} .

Ветровые установки классифицируются по двум основным признакам (рис. 3.9) – геометрии ветрового колеса и ориентации оси вращения ветрового колеса относительно направления ветра. Установки, использующие подъемную силу (лифт-ма-

шины), имеют, как правило, линейную скорость концов лопастей ветрового колеса больше скорости ветра.

Установки, использующие силу лобового сопротивления (драг-машины – рис. 3.10), как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

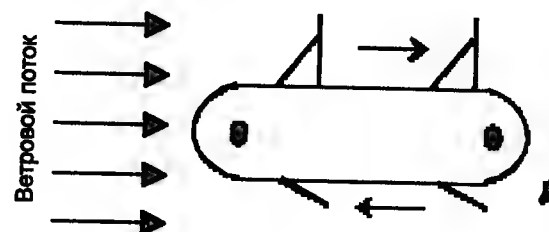


Рис. 3.10. Принципиальная схема ветровой установки, использующей силу лобового сопротивления

Среди различных типов ветровых колес следует выделить цилиндры Магнуса. В основе работы ВЭУ данного типа лежит использование реактивной подъемной силы (рис. 3.11), возникающей вследствие различных условий обтекания (и соответственно различного перепада давлений) на верхней и нижней образующих цилиндров вращения.

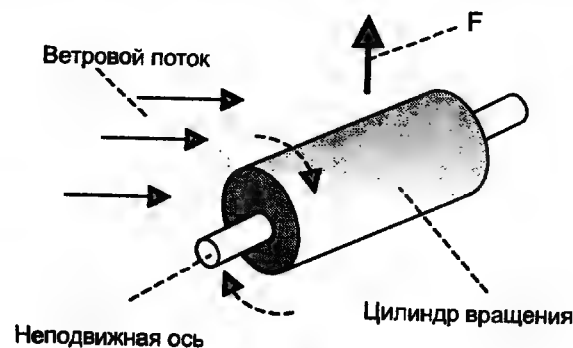


Рис. 3.11. Роторный элемент ветровой установки, использующей эффект Магнуса: F – реактивная подъемная сила

Отличительной особенностью ВЭУ, использующих эффект Магнуса, является достижение максимальной эффективности восприятия ветрового потенциала при не очень высоких ($\sim 4\text{--}5\text{ м/с}$) скоростях ветра.

На рис. 3.12 и 3.13 приведены примеры промышленных конструкций лопастных (с продольной и вертикальной осями вращения ветрового колеса) ВЭУ и опытно-промышленной ВЭУ роторного типа.

Расчет энергетических характеристик ВЭУ. Запас энергии воздушных потоков (или ветровой потенциал) характеризуется прежде всего устойчивыми значениями скорости ветра на уровне размещения ветрового колеса.

Для определения локальных значений скорости ветра на заданной высоте используется соотношение

$$U_z = U_{10} (Z/10)^b, \quad (3.4)$$

где U_z – скорость ветра на определяемой высоте Z ; U_{10} – стандартное значение скорости ветра для данной местности

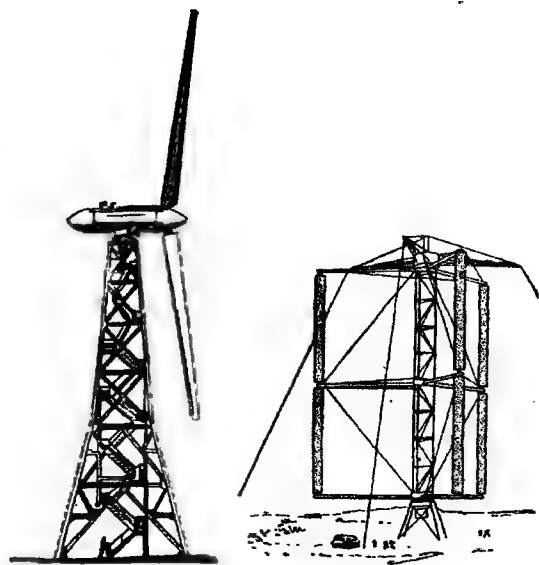


Рис. 3.12. Конструкции лопастных ВЭУ



Рис. 3.13. Роторная ВЭУ фирмы «Аэролла» (Беларусь)

на высоте флюгера 10 м; b – параметр соотнесения, зависящий от времени года и рельефа местности (для открытых мест b приблизительно равно 0,14).

Соответственно, при скорости ветра U на уровне оси ветрового колеса мощность P , развиваемая ветро-энергетической установкой, определяется из соотношения

$$P = c_p S_{\text{ом}} \frac{\rho U^3}{2}, \quad (3.5)$$

где $S_{\text{ом}} = \pi D^2/4$ – ометаемая площадь (площадь, покрываемая лопастями ветрового колеса диаметром D при его вращении); c_p – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования ветровым колесом энергии ветрового потока и зависящий от конструкции ветрового колеса; ρ – плотность воздуха.

Максимальная проектная мощность ВЭУ определяется для некоторой стандартной скорости ветра (обыч-

но в пределах 8–12 м/с в зависимости от типа установки), при которой гарантируется оптимальный режим и безопасность работы ветрового колеса и узлов трансмиссии. В целом при проектировании ВЭУ учитываются максимально возможные для данной местности порывы ветра.

3.5. ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА

Общие сведения. Солнечная энергия достигает Земли в виде направленного E_b и рассеянного (диффузного) E_d лучистых потоков (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Прямое и рассеянное солнечное излучение (а) и регистрация прямого потока солнечного излучения (б–г)

Отношение интенсивности направленного потока к полной интенсивности излучения $E_t = E_b + E_d$ меняется от 0,9 до нуля в пасмурный день с плотной облачностью.

Различают два направления потока излучения: нормальное и на горизонтальную площадку (рис. 3.14). В реальном случае приемная площадка может располагаться произвольно. Это в равной мере относится как к прямому, так и к рассеянному излучению.

Если известна плотность потока E_b^* в нормальном направлении, легко определить действительный поток на площадку другой ориентации: горизонтальную

$$E_{bh} = E_b^* \cos \Theta; \quad (3.6)$$

приемную

$$E_{bc} = E_b^* \cos \Theta_z, \quad (3.7)$$

где Θ и Θ_z – соответственно углы между направлением потока излучения и нормалью к площадке. Суммарный годовой поток радиации на горизонтальную площадку на широте Минска составляет $E_{th} = 3714$ МДж/м², а рассеянный – $E_{dh} = 1988$ МДж/м². Рассеянный поток приблизительно в два раза меньше суммарного.

Радиационное излучение характеризуется также числом часов солнечного сияния, которое для Беларуси и средневропейской части России составляет от 1750 до 1850 ч в год в зависимости от региона. Такая же величина характерна, например, и для Швеции, где солнечная энергетика имеет достижения и поддерживается государством.

Минимальное число дней без солнца приходится на декабрь. По данным многочисленных наблюдений, таких дней бывает один или два. Напротив, в июле наибольшее количество солнечных дней – 19–22.

Поток солнечной энергии используется для горячего водоснабжения, отопления, получения электрической энергии.

Горячее водоснабжение. В системах горячего водоснабжения и отопления используются плоские солнечные коллекторы.

Солнечный коллектор представляет собой теплообменный аппарат с каналами, через которые проходит теплоноситель. Часть солнечной радиации поглощается поверхностью теплообмена и передается теплоносителю.

Простейшим накопителем энергии в форме теплоты является емкость, заполненная водой (рис. 3.15). Если емкость не изолирована и открыта – эффективность аккумуляирования теплоты наименьшая, если закрыта и установлена на теплоизолирующей площадке – эффективность будет выше.

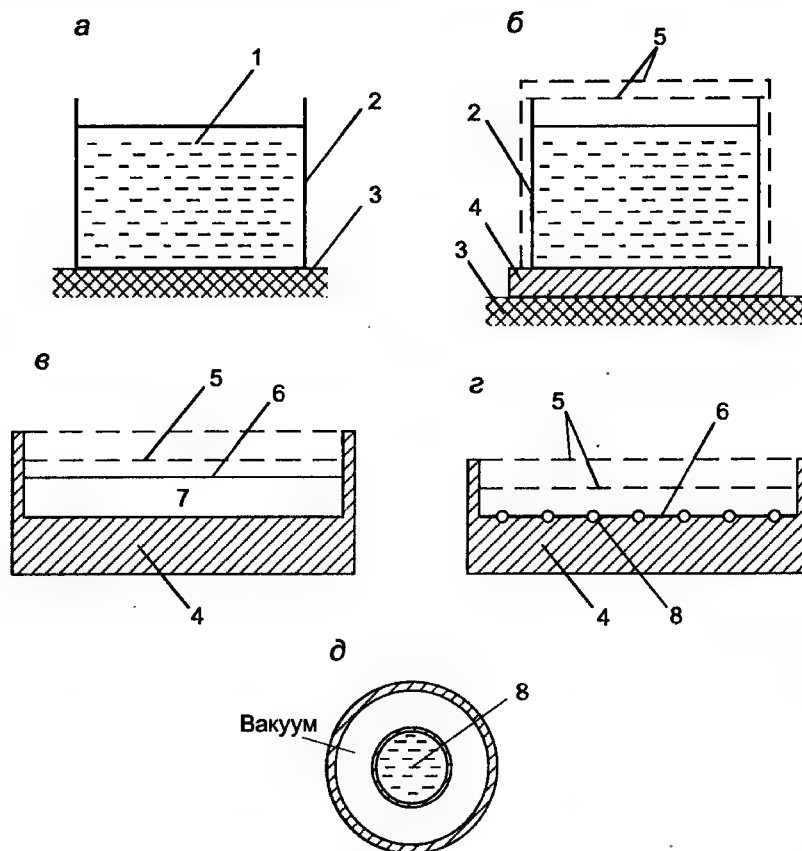


Рис. 3.15. Схемы неизолированной (а) и изолированной (б) емкостей с водой для приема солнечного излучения, плоских солнечных коллекторов систем воздушного (в) и водяного (г) теплоснабжения и вакуумированного теплоприемника (д):

1 – вода; 2 – бак; 3 – грунт; 4 – тепловая изоляция; 5 – стекло; 6 – лучепоглощающая поверхность теплообмена; 7 – канал для воздуха; 8 – каналы для воды

Качество изоляции и расположение коллектора по отношению к горизонту влияют на температуру теплоносителя. Неизолированный коллектор позволяет нагреть воду до 50 °С (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Характеристики солнечного плоского коллектора площадью 1 м²

Параметр	Значение
Производство теплоты	4,86–6,48 кВт·ч/сут. (1070–1426 кВт·ч/год)
Нагрев воды	420–560 л/сут. (при 30 °С) 210–280 л/сут. (при 40 °С) 130–175 л/сут. (при 50 °С) 90–120 л/сут. (при 60 °С)
Экономия ресурсов	Электроэнергии 1070–1426 кВт·ч/год Условного топлива 0,14–0,19 т/год Дерева 0,95–1,26 т/год

Изолированный коллектор имеет многослойное остекление, пропускающее солнечные лучи, и позволяет нагреть воду до 90 °С. Если использовать вакуумные трубки, то температура воды может составлять ~150 °С.

Плоский коллектор поглощает прямое и рассеянное солнечное излучение. В связи с тем что потоки солнечных лучей носят нерегулярный характер, для надежного теплоснабжения следует использовать двухконтурные схемы с резервным источником теплоты в виде теплоэлектронагревателя. Оптимальный угол расположения коллектора к горизонту превышает широту местности на 10 – 15°.

Для повышения производительности солнечной установки используется замкнутый контур с естественной или принудительной циркуляцией, который содержит солнечный коллектор (теплоприемник) и аккумулирующую теплоизолированную емкость (рис. 3.16).

В течение отопительного сезона трехслойные окна могут обеспечить такие же тепловые поступления, как и тепловые потери. Другой подход включает строительство зданий с теплоаккумулирующей стеной, расположенной за остеклением. Большая тепловая инерционность строительных стеновых материалов позволяет использовать накопленную теплоту в пасмурные дни и ночное время. Стены также могут являться пассивными солнечными коллекторами, если они будут включать конвективные каналы.

Пассивные солнечные теплоиспользующие системы имеют наименьшую стоимость для вновь строящихся зданий и такой же срок службы, как и само здание, при низких эксплуатационных расходах. Использование данных систем в существующих зданиях связано со значительными трудностями и затратами.

Получение электроэнергии. Преобразование потока солнечной энергии в электричество осуществляется двумя способами: термомеханическим и фотоэлектрическим.

Термомеханический способ основан на передаче теплоты теплоносителю с генерацией пара и дальнейшим ее преобразованием по традиционной схеме в механическую и электрическую энергию.

Для создания больших плотностей потоков солнечной радиации и соответственно тепловой энергии используются солнечные концентраторы параболического или сферического типа, которые сфокусированы на поверхность теплоприемника (рис. 3.19). В подобных конструкциях солнечных коллекторов теплоприемником является канал, по которому течет теплоноситель. В отличие от плоских коллекторов данные конструкции поглощают только прямое солнечное излучение и снабжаются системами, следящими за Солнцем.

Теплоприемник с теплоносителем может располагаться отдельно от концентратора. Тогда на нем фокусируются солнечные лучи от концентраторов, размещенных на большой площади. По такому принципу, например, работают солнечные электростанции башенного типа, где теплоприемником является паровой котел. Преимущество

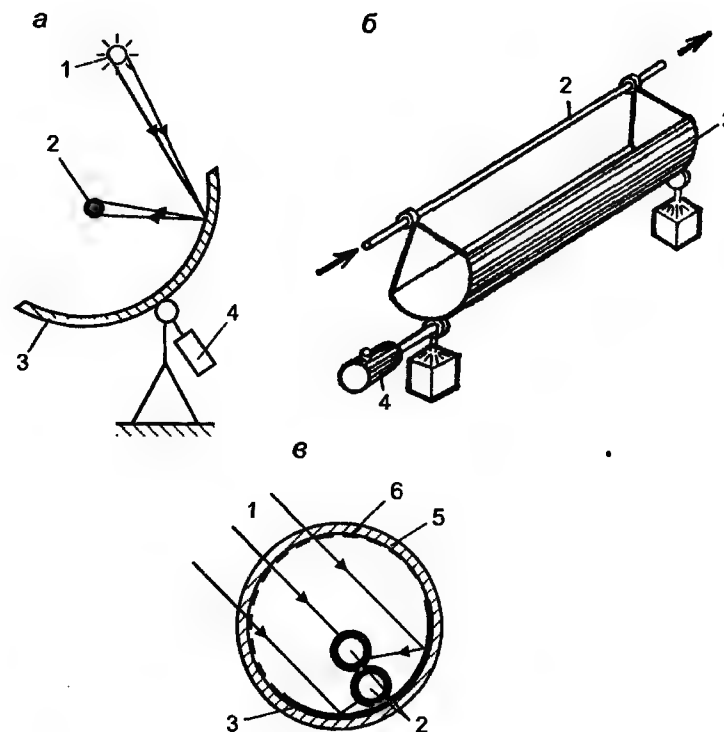


Рис. 3.19. Схемы солнечных коллекторов с концентраторами. Сечение параболического концентратора (а) и его общий вид (б), концентратор с вакуумной трубой (в):

1 – Солнце (солнечные лучи); 2 – теплоприемник; 3 – концентратор; 4 – следящее устройство; 5 – вакуумная труба; 6 – селективное покрытие

этого подхода заключается в том, что не нужно осуществлять транспортировку рабочей жидкости на большие расстояния, а это уменьшает неизбежные потери. В настоящее время ни одна из 10 ранее построенных опытных солнечных башенных электростанций мощностью 0,5–10 МВт не работает, так как их эксплуатация в качестве коммерческих невыгодна.

Недостатком рассмотренных конструкций солнечных электростанций является периодический характер их работы. Они работают тогда, когда светит Солнце. Более перспективными являются гибридные солнечно-

топливные электростанции с распределенными теплоприемниками.

В основе фотоэлектрического способа прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию лежит явление фотоэффекта. Базовыми элементами данной технологии являются устройства, называемые соответственно *фотоэлементами* или *солнечными элементами*. Некоторые из фотоэлементов представляют собой кремниевые полупроводниковые фотодиоды (рис. 3.20), где происходит разделение положительных и отрицательных носителей заряда при поглощении электромагнитного излучения.

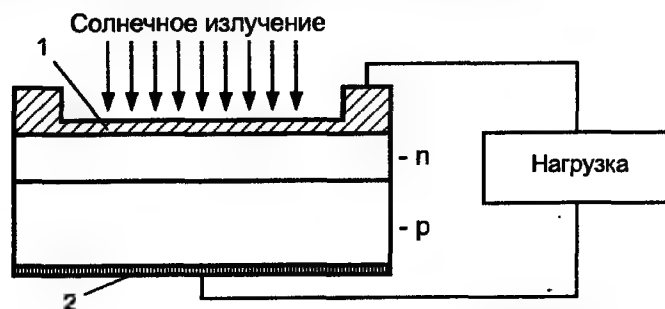


Рис. 3.20. Схема солнечного элемента с p-n переходом:

1 — противотрагательное покрытие лицевого контакта; 2 — металлический контакт с тыльной стороны

При плотности потока солнечного излучения около 1 кВт/м^2 создается разность потенциалов $0,5 \text{ В}$ и плотность тока около 200 А/м^2 . При таких параметрах современные преобразователи с КПД порядка 15–20 % позволяют получить напряжение 120 В с 1 м^2 .

В настоящее время стоимость электроэнергии, получаемой с помощью фотоэлектрических установок, превышает стоимость энергии, получаемой на традиционных энергоустановках. Однако она постепенно снижается.

Перспективными могут быть следующие фотоэлектрические установки:

- солнечные батареи с пиковой мощностью 3 кВт , сооружаемые на крышах зданий для энергоснабжения автономных объектов;

- установки мощностью $100 - 500 \text{ кВт}$, устанавливаемые на открытых пространствах;
- комбинированные установки мощностью $4 - 40 \text{ кВт}$ с аккумулятором, работающие параллельно с дизельным или газовым генератором.

3.6. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аккумуляция энергии. В связи с тем что потоки энергии от большинства возобновляемых источников поступают непостоянно, могут возникнуть трудности с бесперебойным снабжением энергией потребителей. Надежность энергоснабжения повышается с использованием аккумуляторов энергии.

Аккумуляция энергии основана на химических и физических принципах.

Химические принципы аккумуляции энергии позволяют накапливать энергию за счет химических реакций, *физические принципы* — за счет физических явлений (рис. 3.21).

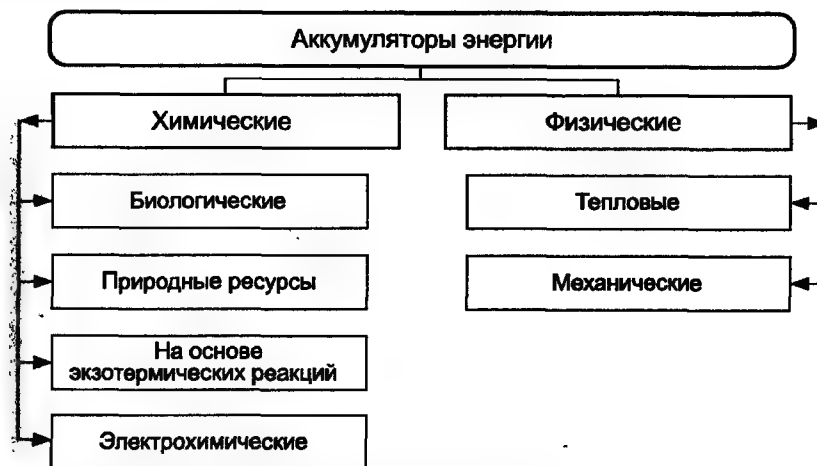


Рис. 3.21. Аккумуляторы энергии, основанные на химических и физических принципах работы

Химические принципы аккумулирования энергии могут включать биохимические реакции под действием потока лучистой солнечной энергии, что составляет основу фотосинтеза, в результате которого образуются органические вещества растений, аккумулирующие солнечную энергию. За счет прямого или косвенного употребления растений в пищу энергия аккумулируется в животных. Растения используются в качестве топлива, а животные могут совершать механическую работу. Природные энергетические ресурсы в виде ископаемого топлива также являются аккумуляторами солнечной энергии.

При проведении экзотермических реакций выделяется саккумулированная теплота, которая может использоваться как полезная в технологических процессах. На основе электрохимических реакций проводится аккумулирование энергии в гальванических элементах многоразового и одноразового пользования. К элементам многоразового пользования относятся кислотные и щелочные аккумуляторы, выдерживающие циклы разрядки и зарядки. Областью их применения являются энергетика, транспорт, ветроэнергетические и солнечные установки, не подключенные к централизованной электрической сети. Одноразовые гальванические элементы используются как источники питания в электронных и электротехнических устройствах.

Перспективным направлением является получение водорода на основе электролиза воды в присутствии H_2SO_4 или NaOH . Водород – экологически чистое топливо, при сгорании которого выделяется вода. Высшая теплота сгорания водорода равна 12,72, а низшая – 10,8 МДж/м³. Он может храниться под давлением с максимальным значением 150 атм. Фактическое значение давления определяется потребителем. Водород может непосредственно преобразовываться в электрическую энергию в топливных водородно-кислородных элементах, использоваться для получения теплоты путем сжигания, а также для совершения механической работы с помощью мотор-генераторов. В качестве топлива водород может быть использован аналогично природному газу.

Физические принципы аккумулирования энергии позволяют аккумулировать как теплоту, так и механическую энергию.

В тепловых аккумуляторах физической теплоты на основе воды или других однофазных веществ температура в процессе накопления и отдачи теплоты изменяется во времени. Использование в качестве рабочих некоторых веществ, изменяющих свое агрегатное состояние, позволяет поддерживать температуру постоянной, соответствующей температуре фазового перехода. Например, к таким веществам относятся парафин, кристаллический сульфат натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (глауберова соль) и др. Так, глауберова соль под действием подводимой теплоты при температуре 32,3 °С переходит в насыщенный раствор Na_2SO_4 с осадком. Эта реакция сопровождается поглощением теплоты в количестве 650 МДж/м³.

Достоинством последних аккумуляторов является их малый объем. Еще более компактны тепловые аккумуляторы на основе обратимых химических реакций рабочего вещества. Пока эти аккумуляторы не нашли широкого применения из-за технических трудностей и по экономическим соображениям.

Аккумулирование механической энергии проводится с помощью гидроаккумуляторов. Например, на гидроаккумуляторных электрических станциях, где имеется избыток электрической энергии, вода после отработки в турбине насосами перекачивается в водохранилище, что позволяет поддерживать достаточный ее уровень (напор) на протяжении всего года. Инерционные аккумуляторы, преобразующие работу в кинетическую энергию для дальнейшего ее использования, пока не нашли широкого применения из-за высокой стоимости и нерешенных технических проблем. Упругие аккумуляторы находят применение в системах сжатого воздуха.

В общем случае аккумулирование энергии позволяет обеспечить:

- бесперебойное энергоснабжение потребителей за счет накопления избыточной энергии и последующего ее ис-

пользования в периоды отсутствия или недостатка энергоснабжения;

- оптимальные режимы работы источников энергии и потребителей за счет сглаживания колебаний в электросети;
- повышение потенциала энергии до необходимого качества при накоплении низкопотенциальной энергии;
- превращение энергии одного вида в другой в зависимости от нужд потребителей.

Комбинированные системы тепло- и электроснабжения. Бесперебойное энергоснабжение потребителей на основе возобновляемых источников наиболее эффективно может быть осуществлено не только с использованием аккумуляторов энергии, но и на основе комбинированных схем. Рассмотрим одну из возможных схем комбинированного энергоснабжения (рис. 3.22).

Источником электроэнергии в данной схеме служат ВЭУ и фотобатарея. Электрохимический аккумулятор служит буфером для выравнивания колебаний тока, полученного с помощью ветрогенератора.

Аналогичная энергосистема была смонтирована и прошла испытания на полигоне Национальной академии на-

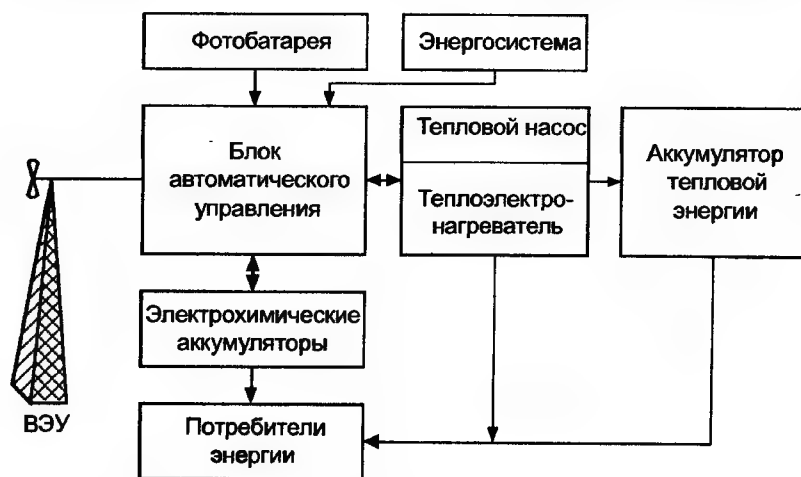


Рис. 3.22. Схема комбинированного энергоснабжения многоквартирного жилого дома

ук Украины. Она полностью обеспечивала энергией потребности многоквартирного дома площадью 50 м² и объемом 188 м³ при расчетной результирующей температуре помещения 19 °С и нормативной температуре наружного воздуха для зимы -21 °С. Тепловой насос с коэффициентом преобразования больше 2 использовался в отопительный период. Успешность проведенных испытаний позволила рекомендовать данную систему к промышленному использованию.

Вместе с тем проектированию различных, в том числе и комбинированных, систем энергоснабжения на основе возобновляемых энергетических источников должен предшествовать мониторинг потенциала и экономически обоснованных предпосылок их внедрения в конкретных условиях.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими видами возобновляемых источников энергии располагает Беларусь?
2. Какова специфическая особенность возобновляемых источников энергии?
3. Чем обусловлена необходимость развития энергетики на основе возобновляемых источников?
4. Как оценить потенциал гидроэнергии?
5. Зачем нужна плотина на ГЭС?
6. Какие виды гидротурбин вы знаете? Поясните принцип их работы.
7. Какие малые ГЭС эксплуатируются в Беларуси?
8. Какие виды солнечного излучения вы знаете?
9. Каков потенциал солнечной энергии в Беларуси?
10. Для каких целей используется солнечная энергия?
11. Какие устройства применяются для приема и утилизации солнечной энергии?
12. Каков принцип прямого преобразования солнечной энергии в электрическую?
13. Какие системы солнечного отопления вы знаете? Поясните принцип их работы.

14. На каких принципах основано аккумулирование энергии?
15. Зачем необходимо аккумулирование энергии в энергетике?
16. Для каких целей используется водород в энергетике?
17. Что дает комбинированное использование возобновляемых источников энергии и аккумуляторов энергии?
18. Приведите схему комбинированного использования возобновляемых источников энергии.

ГЛАВА

4

ТРАНСПОРТИРОВКА
ЭНЕРГИИ4.1. ТРАНСПОРТИРОВКА ПЕРВИЧНЫХ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В большинстве случаев источники первичных энергоресурсов, к которым относится топливо, и энергоносители, вырабатываемые в энергоустановках и системах преобразования энергии, не совмещены с потребителем, поэтому требуется их транспортировка. Транспортировка топлива осуществляется с помощью наземного или водного транспорта и по трубопроводам.

При транспортировке жидких и газообразных энергоносителей (нефти, природного газа, сжатого воздуха, пара, горячей и холодной воды) по трубопроводам энергия затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления.

Рассмотрим приближенные методы количественного анализа для оценки возможных потерь при транспортировке энергии и пути их снижения.

Топливо перевозят в твердом или жидком агрегатном состоянии. При этом используются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания или электрической тягой, что в свою очередь требует дополнительных затрат топлива для их работы.

Твердое топливо, если оно обладает большими значениями теплоты сгорания и плотности, целесообразно перевозить на большие расстояния с помощью железнодорожного, автомобильного или водного транспорта. К такому топливу относятся высококачественные каменные угли с $Q_H^p \geq 30$ МДж/кг. Древесину как топливо транспортировать более чем на несколько десятков километров невыгодно. Наиболее эффективным топливом по своим удельным характеристикам является ядерное горючее.

При перевозках топлива часть энергии тратится из-за неизбежных потерь массы, а другая часть потерь связана

с ее расходом при работе транспортных средств. Убыль массы можно уменьшить, используя специально оборудованные транспортные средства, например оснащенные герметичными сосудами при перевозках жидкого топлива. Затраты энергии при работе транспортных средств можно снизить, поддерживая их в исправном состоянии, проводя своевременное регулирование и техническое обслуживание.

В настоящее время большое распространение получили жидкие и газообразные энергоносители, обладающие высоким значением теплоты сгорания (природный газ, нефть) и удобные при транспортировке по трубопроводам. Затраты энергии для перемещения энергоносителей, горячей и холодной воды по трубопроводам зависят от потерь давления в их элементах (рис. 4.1).

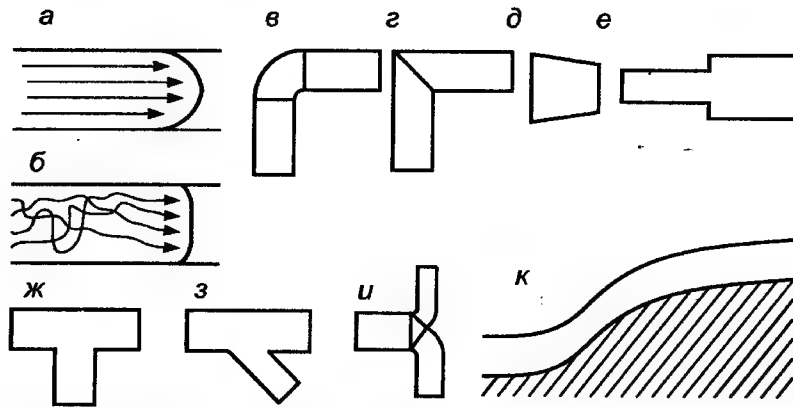


Рис. 4.1. Факторы, влияющие на потери давления при транспортировке энергоносителей по трубопроводам:

а, б — сопротивление трения при ламинарном и турбулентном течении жидкости; в, г — местные сопротивления в коленах; д, е — местные сопротивления при деформации потоков при расширении и сужении; ж, и — местные сопротивления при слиянии и разделении потоков; к — потери на преодоление силы тяжести

Знание потерь давления в сочетании с расходами потоков и характеристиками перекачивающих устройств позволяет найти энергетические затраты на транспортировку энергоносителя.

В общем случае потери давления (напора) при транспортировке энергоносителя включают три составляющие:

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_M + \Delta P_h, \quad (4.1)$$

где ΔP_T , ΔP_M , ΔP_h — потери давления соответственно за счет сопротивления трения, местных сопротивлений (сужений, расширений, поворотов) и перепада высот.

Потери давления на участке реального теплопровода вычисляются на основании результатов испытаний, которые учитывают шероховатость испытанного участка и местные сопротивления. Для предварительного анализа потери напора можно приближенно рассчитать на основании теоретических зависимостей и стандартных опытных данных.

Потери давления за счет сопротивления трения в трубах

$$\Delta P_T = \lambda_f \frac{L}{D_y} \frac{\rho w^2}{2}, \quad (4.2)$$

где λ — коэффициент сопротивления трения; L — длина участка теплопровода, м; D_y — условный внутренний диаметр теплопровода, м; ρ — средняя плотность энергоносителя, кг/м³; w — средняя скорость энергоносителя, м/с.

Перепад давления в местном сопротивлении

$$\Delta P_M = \lambda_M \frac{\rho w^2}{2}, \quad (4.3)$$

где λ_M — коэффициент местного сопротивления для типичных геометрий, определяется на основании эмпирических справочных данных.

Потери давления за счет перепада высот

$$\Delta P_h = \rho g (h - h_0), \quad (4.4)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; h_0 , h — соответственно нулевой и текущий уровни, м.

Энергоноситель может перемещаться по трубам при различных режимах течения в зависимости от числа Рейнольдса для потока $Re = wD_y/\nu$. Различают три режима гидродинамического течения: ламинарный ($Re < 2200$), переходный ($2200 \leq Re \leq 4000$) и турбулентный ($Re > 4000$). Коэффициент сопротивления трения для гидродинамически гладких труб:

$$\begin{aligned}\lambda_f &= 64/Re && \text{при } Re < 2200; \\ \lambda_f &\approx 6,3 \cdot 10^{-4} Re^{0,5} && \text{при } 2200 \leq Re \leq 4000; \\ \lambda_f &= (0,78 \ln Re - 1,64)^{-2} && \text{при } Re \geq 4000.\end{aligned}\quad (4.5)$$

В реальных теплопроводах дополнительно учитывается шероховатость труб на основании формулы Альтшуля. Тогда

$$\lambda_f = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{D_y} \right)^{0,25}, \quad (4.6)$$

где Δ – эквивалентная абсолютная шероховатость, мм.

Для новых и чистых стальных сварных труб $\Delta = 0,05$ мм, после нескольких лет эксплуатации – 0,2 мм, для сильно заржавевших или с большими отложениями – 3,0 мм.

На основании вычисленных интегральных потерь давления определяют затраты энергии, потребляемой приводом насоса, на прокачку энергоносителя:

$$N = \frac{G\Delta}{\rho\eta_n}, \quad (4.7)$$

где G – массовый расход энергоносителя; ρ – плотность энергоносителя; η_n – КПД привода.

Распределение расхода энергоносителя по участкам разветвленной сети рассчитывается методом итераций на основании законов Кирхгофа. При этом совместно рассчитываются потери давления на каждом участке.

Пример 1. Вентилятор имеет ременную передачу. КПД передачи после длительной эксплуатации снизился до 50 %. После регулировки натяжения ремня при прочих равных условиях КПД передачи повысился до 85 %. Во сколько раз изменится потребление энергии вентилятором после регулировки?

Решение. Для решения задачи воспользуемся формулой (4.7). Изменение потребления энергии вентилятором $N_2/N_1 = \eta_1/\eta_2 = 50/85 = 0,59$.

Таким образом, потребление энергии вентилятором после регулировки натяжения ремня уменьшится на 59 %.

Уменьшение затрат энергии на транспортировку энергоносителя по трубопроводам может быть достигнуто:

- экономически оправданным увеличением диаметра трубопроводов;
- использованием плавных переходов в устройствах, являющихся источником местных сопротивлений;
- устранением течей;
- применением совершенных перекачивающих устройств с высоким значением эффективного КПД.

4.2. ТРАНСПОРТИРОВКА ТЕПЛОТЫ

Транспортировка преобразованной энергии в виде энергоносителей проводится в большинстве случаев по трубопроводам, что сопряжено, как указывалось выше, с ее потерями на преодоление гидравлического сопротивления. Дополнительная составляющая потерь энергии в виде теплоты присутствует при транспортировке горячих энергоносителей – воды и пара, воздуха и др.

Передача теплоты от источника потребителям осуществляется с помощью систем теплоснабжения, которые включают источник, тепловую сеть и потребителей (рис. 4.2).

Наиболее распространенными источниками теплоснабжения являются энергетические установки: ТЭЦ, атомные станции теплоснабжения (АСТ) и котельные.

Тепловая сеть включает систему трубопроводов (теплопроводов), по которым теплоноситель (горячая вода или пар)

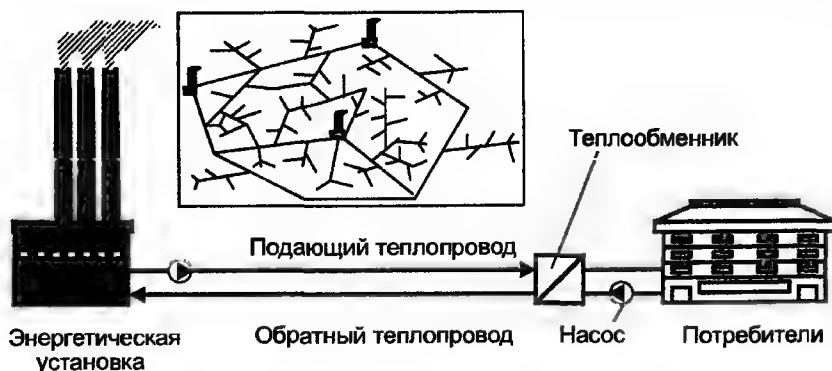


Рис. 4.2. Принципиальная схема централизованного теплоснабжения и тепловой сети

переносит теплоту от источника к потребителям и возвращается обратно к источнику. Потребителями теплоты являются промышленные и коммунально-бытовые предприятия, жилые, общественные и административные здания. Отпускаемая теплота расходуется на технологические нужды, отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию.

Реальные тепловые сети отличаются чрезвычайной разветвленностью и могут включать несколько источников теплоты – ТЭЦ или котельные. Отдельные магистрали таких сетей связаны перемычками и имеют закольцованные участки, что повышает надежность снабжения теплотой.

Транспортировка теплоты осуществляется с помощью теплопроводов. Современные теплопроводы изготавливаются в заводских условиях и конструктивно включают (рис. 4.3):

- стальную трубу для транспортировки энергоносителя;
- тепловую изоляцию из пенополиуретана с коэффициентом теплопроводности от 0,02 до 0,027 Вт/(м·К);
- защитный кожух из пластмассы.

Кроме того, теплопроводы оснащены определителем течи, что позволяет точно устанавливать место повреждения и быстро устранять неисправности. Благодаря пластиковому защитному кожуху и жесткому сцеплению изоляции такие теплопроводы герметичны и выдержива-



Рис. 4.3. Схема элемента предварительно изолированного теплопровода

ют механические нагрузки со стороны грунта. Данные теплопроводы являются перспективными и прокладываются непосредственно в грунте, что сокращает затраты на их монтаж и эксплуатацию. Они надежны и удобны в обслуживании.

Для сведения тепловых потерь к минимуму при монтаже теплопроводов предусмотрена технология герметизации швов на стыках и других элементов – задвижек, переходников.

В настоящее время наиболее распространены теплопроводы с прокладкой в непроходных каналах или с надземной прокладкой (рис. 4.4). Они оснащаются теплоизоляцией из минеральной ваты. Коэффициент теплопроводности сухой минеральной ваты в два раза выше, чем пенополиуретана.

Из теплопроводов формируется тепловая сеть, связывающая источники энергии с потребителями. Этот фактор учитывается таким параметром, как протяженность теплопроводов.

При транспортировке теплоты имеются потери в окружающую среду, величина которых зависит как от разно-

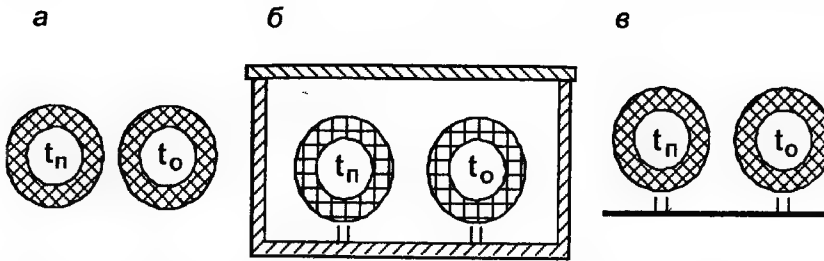


Рис. 4.4. Схемы конструкций типичных теплопроводов замкнутой системы теплоснабжения:

а – подземный предизолированный теплопровод с заводской изоляцией из пенополиуретана; б – подземный теплопровод в непроходном канале с изоляцией из минеральной ваты; в – надземный теплопровод

сти температур теплоносителя и окружающей среды, так и от качества тепловой изоляции теплопроводов. Основной характеристикой теплоизоляционных материалов является коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплопроводности зависит от применяемого материала и его влажности; с ростом влажности материала коэффициент теплопроводности увеличивается.

Потери теплоты при транспортировке теплоносителей связаны с их охлаждением, а при использовании пара появляются дополнительные потери, обусловленные конденсацией. В общем случае при транспортировке потери теплоты в окружающую среду можно рассчитать по данным измерений на основе уравнения теплового баланса:

$$Q = Gc_p(t_1 - t_2) + rG_K, \quad (4.8)$$

где G – массовый расход однофазного энергоносителя (пар или жидкость), кг/с; c_p – удельная теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении, Дж/(кг·К); t_1 и t_2 – температура теплоносителя соответственно на входе и выходе рассматриваемого участка сети; r – теплота конденсации, Дж/кг; G_K – расход сконденсировавшегося теплоносителя, кг/с.

Потери тепловой энергии надземным теплопроводом в окружающую среду можно довольно просто оценить на основании уравнения теплопередачи. При этом тепловой поток удобно отнести к длине теплопровода l . Тогда

$$Q = q_l l = k_l \Delta t l, \quad (4.9)$$

где q_l – линейная плотность теплового потока, Вт/(м·°С); k_l – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·°С); $\Delta t \equiv (\bar{t}_T - t_\infty)$ – температурный напор, °С; $\bar{t}_T$ – средняя температура теплоносителя на исследуемом участке теплопровода, °С; t_∞ – температура окружающей среды, °С.

Линейный коэффициент теплопередачи через многослойную стенку предизолированного теплопровода определяется по соотношению

$$k_l = \left(\frac{1}{\alpha_T \pi D_B} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{D_H}{D_B} + \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{D_{из}}{D_H} + \frac{1}{2\pi\lambda_K} \ln \frac{D_K}{D_{из}} + \frac{1}{\alpha_\infty \pi D_K} \right)^{-1}, \quad (4.10)$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи со стороны теплоносителя, Вт/(м²·К); α_∞ – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, Вт/(м²·К); λ , $\lambda_{из}$, λ_K – коэффициенты теплопроводности соответственно трубы, изоляции и защитного кожуха, Вт/(м·°С); D_B , D_H , $D_{из}$, D_K – внутренний и наружный диаметры стальной трубы, наружные диаметры изоляции и защитного кожуха, м.

В уравнении (4.10) первый член выражает термическое сопротивление теплоотдачи со стороны теплоносителя, второй – стальной трубы, третий – слоя изоляции, четвертый – защитного кожуха и пятый – теплоотдачи со стороны окружающей среды. В предельном случае, упростив формулу (4.10), можно оценить максимальное значение возможных тепловых потерь, приняв, что коэффициент

теплопередачи определяется только термическим сопротивлением многослойной стенки теплопровода:

$$k_l = R^{-1} = \left(\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{D_n}{D_b} + \frac{1}{2\pi\lambda_n} \ln \frac{D_n}{D_n} + \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{D_k}{D_n} \right)^{-1}. \quad (4.11)$$

Пример 2. По чугунному теплопроводу диаметром $60 \times 3,5$ мм движется пар с температурой $t_n = 325$ °С. Коэффициент теплоотдачи от пара к трубе $\alpha_1 = 110$ Вт/(м²·К). Окружающий наружный воздух имеет температуру $t_b = 20$ °С.

Найти удельные тепловые потери, если теплопровод изолирован слоем пеношамота толщиной 70 мм, а коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха $\alpha_2 = 15$ Вт/(м²·К).

Коэффициент теплопроводности чугуна равен 90 Вт/(м·К), а пеношамота – 0,29 Вт/(м·К).

Решение. В соответствии с условием задачи наружный и внутренний диаметры теплопровода и диаметр изоляции соответственно равны: $D_n = 60$ мм, $D_b = 60 - 2 \cdot 3,5 = 53$ мм, $D_{и} = 60 + 2 \cdot 70 = 200$ мм.

Коэффициент теплопередачи находим по формуле (4.10):

$$k_l = \left(\frac{1}{110 \cdot \pi \cdot 0,06} + \frac{1}{2\pi \cdot 90} \ln \frac{60}{57} + \frac{1}{2\pi \cdot 0,29} \ln \frac{200}{60} + \frac{1}{15 \cdot \pi \cdot 0,2} \right)^{-1} = 1,225 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}.$$

Удельные потери теплоты теплопроводом

$$q_l = k_l (t_n - t_b) = 1,225 (325 - 20) = 374 \text{ кВт/м}.$$

При транспортировке теряется значительное количество теплоты. В отдельных случаях эти потери достигают 50 %. Это связано с неудовлетворительной тепловой изоляцией и утечкой теплоносителя. Особенно большие потери могут происходить в технологических теплопроводах с большим уровнем температур и образованием конденсата. При конденсации пара дополнительно выделяется значительное количество теплоты за счет фазового перехода, а в горизонтальных трубах также увеличиваются потери давления на прокачку теплоносителя.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду можно рекомендовать следующее:

- применять теплопроводы с высокими теплоизоляционными свойствами;
- понижать уровень температур теплоносителя без ущерба для потребителя;
- при возможности заменять технологический пар горячей водой;
- своевременно с помощью конденсатоотводчиков удалять конденсат из паропроводов;
- ликвидировать утечки теплоносителя;
- использовать гибкие системы регулирования отпуска и распределения теплоты.

4.3. ТРАНСПОРТИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Электроэнергетическая система включает электрическую часть электростанций и потребителей энергии, которые связаны между собой посредством электрических сетей.

Распределение и передача электрической энергии осуществляются электрическими сетями, включающими трансформаторные и преобразовательные подстанции, распределительные устройства и воздушные или кабельные линии электропередачи (ЛЭП).

Передачу электроэнергии можно осуществлять при напряжении, вырабатываемом источником, согласованным с потребителем, или изменяя напряжение в ЛЭП с помощью трансформаторов (рис. 4.5).

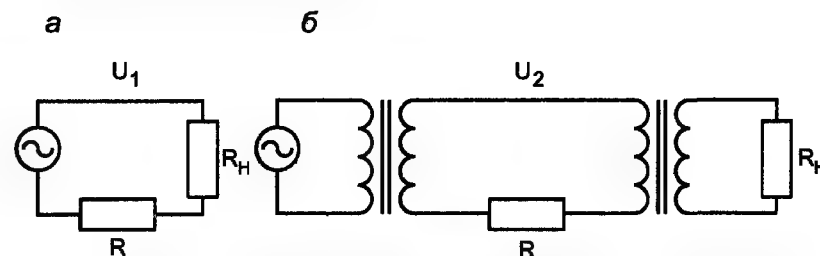


Рис. 4.5. Система передачи электроэнергии без повышения напряжения (а) и с повышением напряжения (б) в линии электропередачи

Рассмотрим оба случая передачи электроэнергии, полагая, что полезная нагрузка P , обусловленная сопротивлением потребителя R_n , остается постоянной и передается при сопротивлении цепи $R = \text{const}$.

В основе анализа лежат закон Ома и формула для расчета мощности участка цепи:

$$I = U/R; \quad (4.12)$$

$$P = IU. \quad (4.13)$$

При принятых допущениях полезная мощность, передаваемая источником потребителю в обеих схемах, равна

$$P = I_1 U_1; \quad (4.14)$$

$$P = I_2 U_2, \quad (4.15)$$

где индексы 1 и 2 соответственно относятся к схемам *a* и *b* на рис. 4.5.

Потери энергии в обеих схемах, напротив, различаются:

$$P_1^n = I_1^2 R; \quad (4.16)$$

$$P_2^n = I_2^2 R. \quad (4.17)$$

Относительная величина потерь

$$P_1^n / P_2^n = I_1^2 R / I_2^2 R = I_1^2 / I_2^2. \quad (4.18)$$

С учетом (4.14) и (4.15)

$$P_1^n / P_2^n = (P/U_1)^2 / (P/U_2)^2 = U_2^2 / U_1^2. \quad (4.19)$$

Таким образом, потери при передаче электроэнергии обратно пропорциональны квадрату напряжения. По этой причине в линиях электропередачи используются высокие напряжения, которые в настоящее время достигают 750–1150 кВ. Это позволяет без существенных потерь передавать электроэнергию на большие расстояния по проводам небольшого сечения, что также приводит

к косвенной экономии энергии за счет снижения материалоемкости ЛЭП.

Наличие трансформаторов в передающих и распределительных системах переменного тока приводит к возникновению дополнительного индуктивного сопротивления X_L и дополнительным потерям за счет реактивной мощности Q (рис. 4.6).

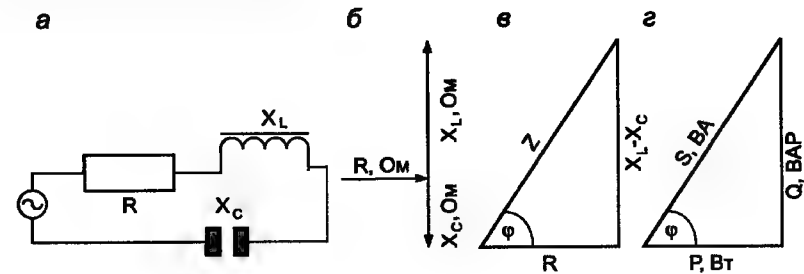


Рис. 4.6. Определение полной мощности и сопротивления в цепи переменного тока:

a – электрическая цепь; *б* – векторный характер последовательного соединения сопротивлений; *в* – треугольник сопротивлений; *г* – треугольник мощностей

Паразитную реактивную мощность можно уменьшить, последовательно включив в цепь емкостное сопротивление X_C в виде батареи конденсаторов. Это следует из векторного характера рассматриваемых параметров (рис. 4.6). Полная мощность S зависит от коэффициента (косинуса угла φ), показывающего степень запаздывания тока от напряжения:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z}. \quad (4.20)$$

Потребителями реактивной мощности наряду с активной кроме трансформаторов являются электродвигатели, сварочные аппараты, индукционные электропечи, флюоресцентные лампы и другое электротехническое оборудование.

Составляющая реактивной мощности всегда присутствует в цепях переменного тока, содержащих катушки

или обмотки, за счет ЭДС самоиндукции. Как и в рассмотренном случае с трансформатором, ее можно уменьшить введением емкостного сопротивления.

Пример 3. Электрическая цепь переменного тока содержит последовательно включенные активное сопротивление $R=80$ Ом и индуктивное сопротивление $X_L=100$ Ом. Для компенсации реактивной мощности в цепь добавлено емкостное сопротивление $X_C=40$ Ом. Напряжение в цепи осталось без изменения и равно $U=110$ В.

Определить, на какую величину изменилась потребляемая мощность.

Решение. Сопротивление цепи с активным и индуктивным сопротивлением

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 128,1 \text{ Ом.}$$

Сопротивление цепи с активным, индуктивным и емкостным сопротивлением

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)} = 100 \text{ Ом.}$$

Потребляемая полная мощность определяется по формуле (4.19):

$$S = P / \cos \varphi = (U^2 / R) (Z / R).$$

Первоначальная потребляемая мощность равна 242,1 Вт, а после установки емкостного сопротивления – 189 Вт. Таким образом, потребляемая мощность уменьшилась на 53,1 Вт.

Активная, реактивная и полная мощности связаны с соответствующими напряжениями и током в электрической цепи:

$$P = U_a I; Q = U_r I; S = UI, \quad (4.21)$$

где U_a – активное (обычное) падение напряжения; U_r – реактивное падение напряжения; U – полное падение напряжения в цепи.

Снижение потерь в линиях электропередачи может быть также достигнуто использованием постоянного тока или сверхпроводников. В первом случае требуются мощные преобразователи напряжения. Опытная эксплуатация таких линий показала их высокую стоимость и нерентабельность по сравнению с традиционными системами передачи электроэнергии. Во втором случае эксплуатация сверхпроводника ЛЭП требует криогенных систем, что еще выше по стоимости.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом транспортируются твердые, жидкие и газообразные топлива?
2. Что влияет на затраты энергии при перемещении жидкого или газообразного энергоносителя?
3. Какие технические элементы и устройства включает система теплоснабжения?
4. С помощью каких мероприятий можно повысить эффективность передачи теплоты от источника к потребителю?
5. Каким параметром определяется эффективность передачи электрической энергии и почему?
6. Что такое активная, реактивная и эффективная мощности в цепях переменного электрического тока?
7. Как можно компенсировать реактивную мощность?
8. Какие альтернативные методы применяются для снижения потерь энергии в линиях электропередачи?

ГЛАВА 5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

5.1. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭКОЛОГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Предметом изучения экологии является охрана окружающей среды. Данное направление связано с энергетикой, так как энергетические объекты могут отрицательно воздействовать на окружающую среду, загрязняя ее.

Окружающая среда включает биосферу, которая охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы (земная кора и верхняя мантия). Загрязнение биосферы может быть уменьшено за счет энергосбережения при рациональном использовании невозобновляемых и возобновляемых источников энергии.

Для лучшего понимания механизма отрицательного воздействия выбрасываемых в атмосферу вредных веществ рассмотрим более подробно ее строение (рис. 5.1).

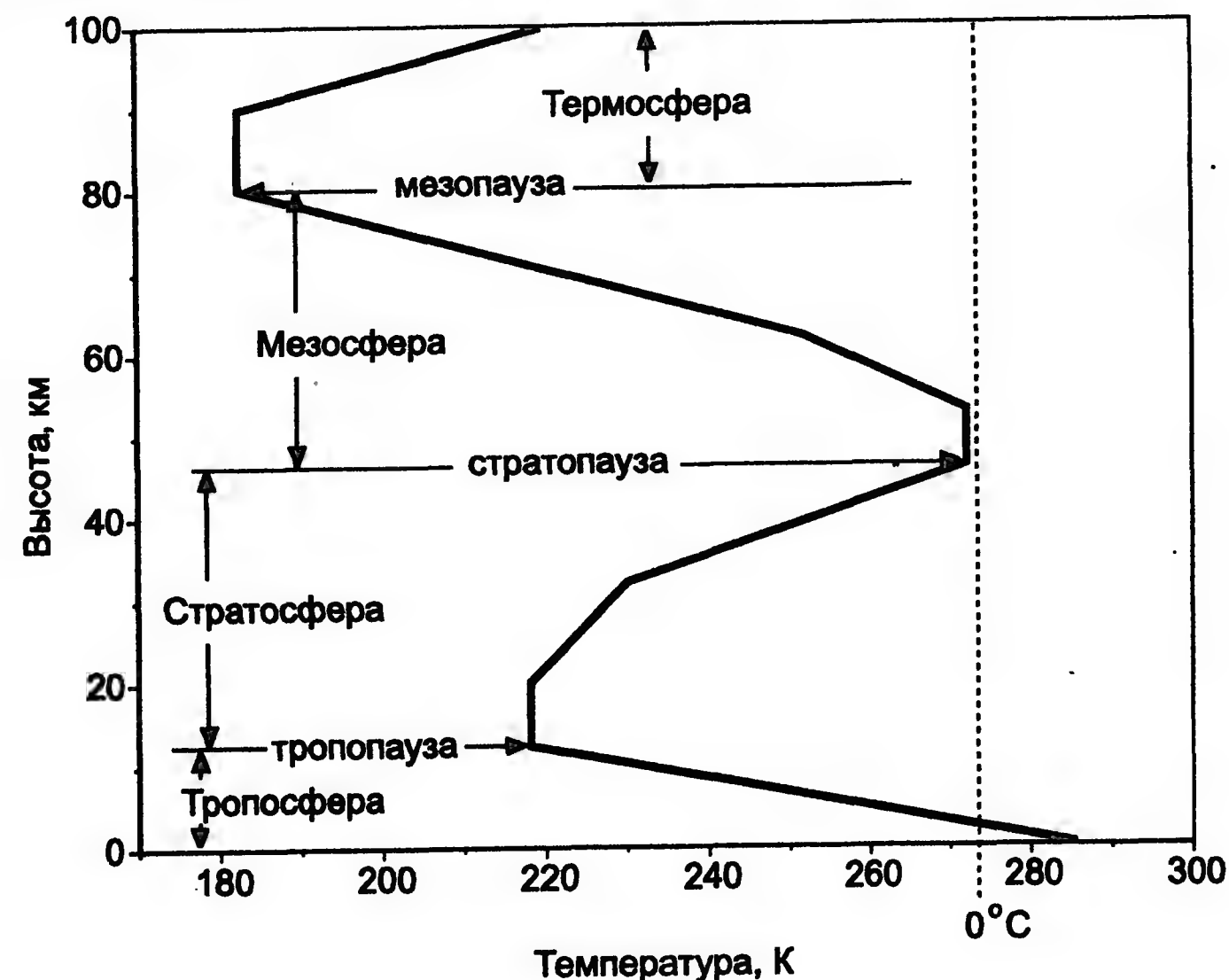


Рис. 5.1. Строение атмосферы

Атмосфера включает по высоте четыре области:

- тропосферу – от 0 до 10–12 км с падением температуры до -55°C и давления до 41,0 мм рт. ст.;
- стратосферу – от 10–12 до 50–55 км с ростом температуры до 0°C и падением давления до 8,9 мм рт. ст. в средней стратосфере и до 0,63 мм рт. ст. в верхней;
- мезосферу – от 50–55 до 80–90 км с падением температуры до -90°C и давления до 0,04 мм рт.ст.;
- термосферу, простирающуюся от 80–90 до 200–300 км с непрерывным повышением температуры до сотен градусов.

Каждая зона атмосферы завершается областью постоянной температуры: тропопаузой, стратопаузой и мезопаузой. Газы, накапливаясь в верхних слоях тропосферы и стратосферы, препятствуют выходу теплового инфракрасного излучения с поверхности Земли, нагретой Солнцем. Атмосфера и поверхность Земли нагреваются, пока уходящие потоки энергии не уравниваются с приходящими.

Это явление представляет собой парниковый эффект (рис. 5.2), который сопровождается нагревом тропосферы и охлаждением стратосферы.

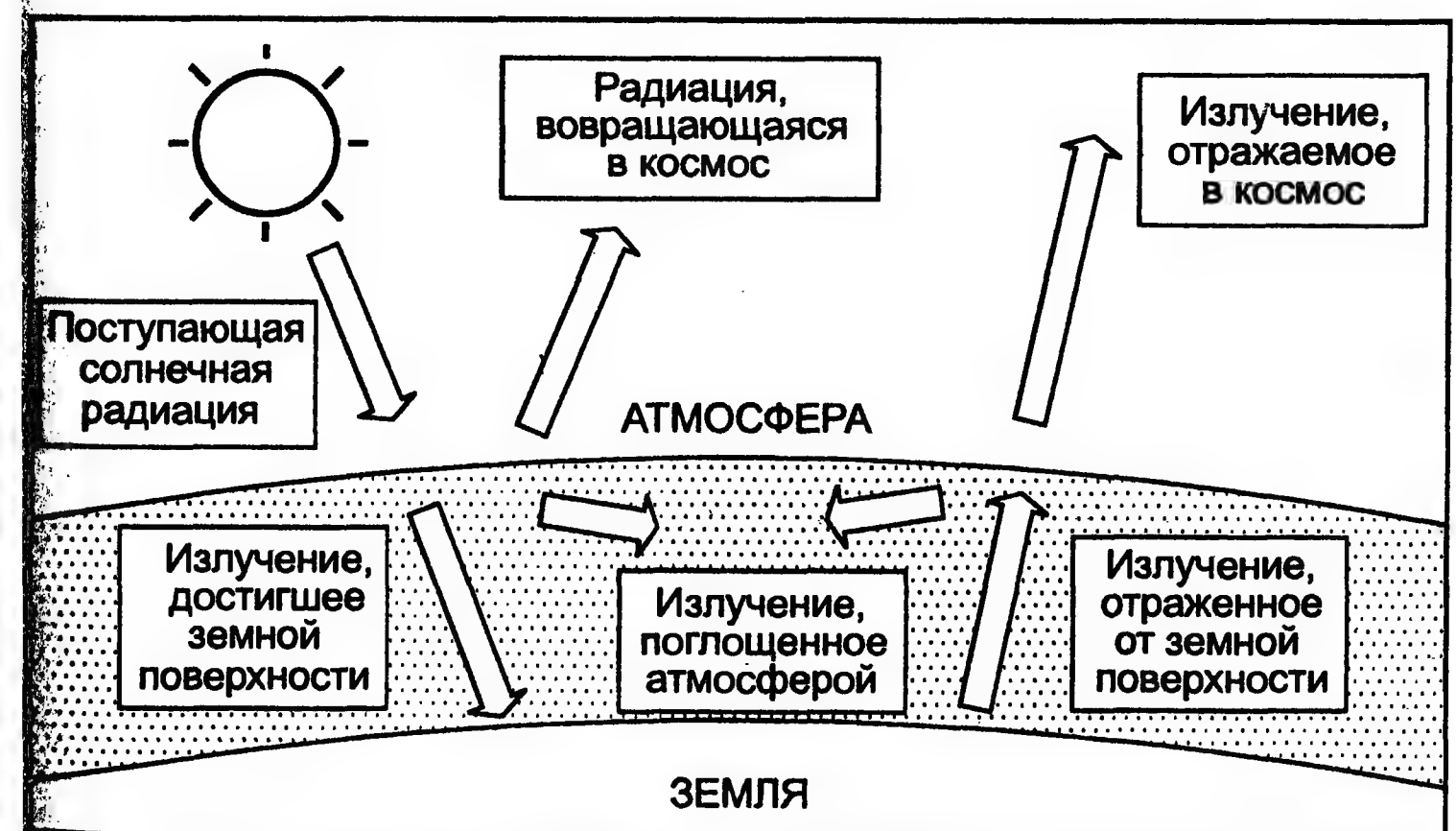


Рис. 5.2. Происхождение парникового эффекта

В средней атмосфере присутствует озоновый слой. Молекулы озона поглощают солнечное излучение с длиной волн короче 290 нм и инфракрасное излучение с поверхности Земли с длиной волн 9–10 мкм, усиливая парниковый эффект.

Таким образом, озоновый слой участвует в обеспечении безопасного уровня ультрафиолетовой радиации и поддерживает устойчивый климат на Земле. В тропосфере и стратосфере озон также оказывает воздействие на антропогенные примеси, поступающие в атмосферу в результате деятельности человека, разрушая их. В совокупности процессы с участием озона обеспечивают оптимальные условия существования флоры и фауны. Неконтролируемые выбросы в атмосферу хлорсодержащих газов и окислов азота истощают и разрушают озоновый слой, что ведет к увеличению поступающего на Землю биологически вредного солнечного ультрафиолетового излучения.

Ниже приведен перечень рекомендованных Международным бюро по защите окружающей среды приоритетных мероприятий в области энергетики, направленных на снижение парникового эффекта.

- ♦ Более эффективное производство, передача и распределение энергии.
- ♦ Уменьшение энергоемкости обработки основных материалов.
- ♦ Внедрение энергоэффективных моторов и приводов.
- ♦ Повышение эффективности освещения и водяного отопления и, как следствие, снижение потребления первичного топлива.
- ♦ Использование возобновляемых видов энергии, и в частности фотоэлектрической, солнечно-тепловой, ветровой.
- ♦ Производство биомассы для замены ископаемого твердого топлива, газификация биомассы.
- ♦ Внедрение совершенных, энергоэффективных газотурбинных циклов.
- ♦ Развитие малой гидроэнергетики.
- ♦ Переход на природный газ.
- ♦ Переработка городских и сельских отходов.

Одним из направлений экологизации энергосбережения может быть проведение совместного эколого-энергетического аудита и экспертизы и соблюдение экологического законодательства в области энергосбережения.

Как видим, взаимосвязь экологии и энергосбережения выражается простой формулой: экономить энергию — уменьшается отрицательное воздействие на окружающую среду.

5.2. НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Объекты энергетики, где в качестве первичной энергии используется углеводородное топливо, являются источниками вредных выбросов в окружающую среду. В процессе горения топлива наряду с выделением тепловой энергии с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на биосферу (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

Вещества	Характеристика
1	2
Диоксид серы (SO ₂)	Оказывает влияние на процессы окисления, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей)
Оксид азота (NO _x)	Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя, что также отрицательно влияет на здоровье человека. Оксид азота вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди»
Моноксид углерода (CO)	Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ)

Окончание табл. 5.1

1	2
Углекислый газ (CO_2)	Образование CO_2 – необходимое условие процесса горения (производства энергии). Экологические законы ограничивают уровень выбросов CO_2 (Киотский протокол 1997 г.). Способствует созданию парникового эффекта
Твердые частицы	Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Могут являться источником выбросов в атмосферу радионуклидов при сжигании древесины из чернойбыльской зоны

Воздействие на окружающую среду оказывают также и другие газы, поступающие в атмосферу: пар, метан, хлад-агенты.

Наиболее эффективным способом снижения вредных выбросов в атмосферу является уменьшение объема сжигаемого топлива за счет рационального использования вторичной энергии.

Таким образом, энергосбережение способствует улучшению экологии окружающей среды. Этот фактор особенно важен для Беларуси, где энергогенерирующие технологии в основном базируются на топливоиспользующих установках.

Рассмотрим некоторые пути снижения потребления топлива.

Утилизация тепловых энергетических отходов непосредственно связана с экологическими мероприятиями, так как за счет этого достигается снижение вредных выбросов пропорционально сэкономленному топливу.

Особенно наглядной и ощутимой является организация оптимальных топочных процессов и утилизации сбросной теплоты в промышленных печах, котельных установках и на других объектах энергетики. Рассмотрим некоторые аспекты данного направления.

Ископаемое топливо пока остается преобладающим источником энергии, получаемой в форме теплоты при его сжигании. Исследования, проведенные в Дании, показывают, что комбинированное производство электрической энергии и теплоты на ТЭЦ является самым важным направлением в снижении выбросов CO_2 . При этом снижение выбросов CO_2 в среднем составляет 500 кг/МВт·ч при производстве 1 МВт·ч электроэнергии по комбинированному циклу в сравнении с отдельным производством электрической и тепловой энергии на ТЭС и в котельных. Кроме диоксида углерода уменьшается количество вредных выбросов SO_2 и NO_x (рис. 5.3).

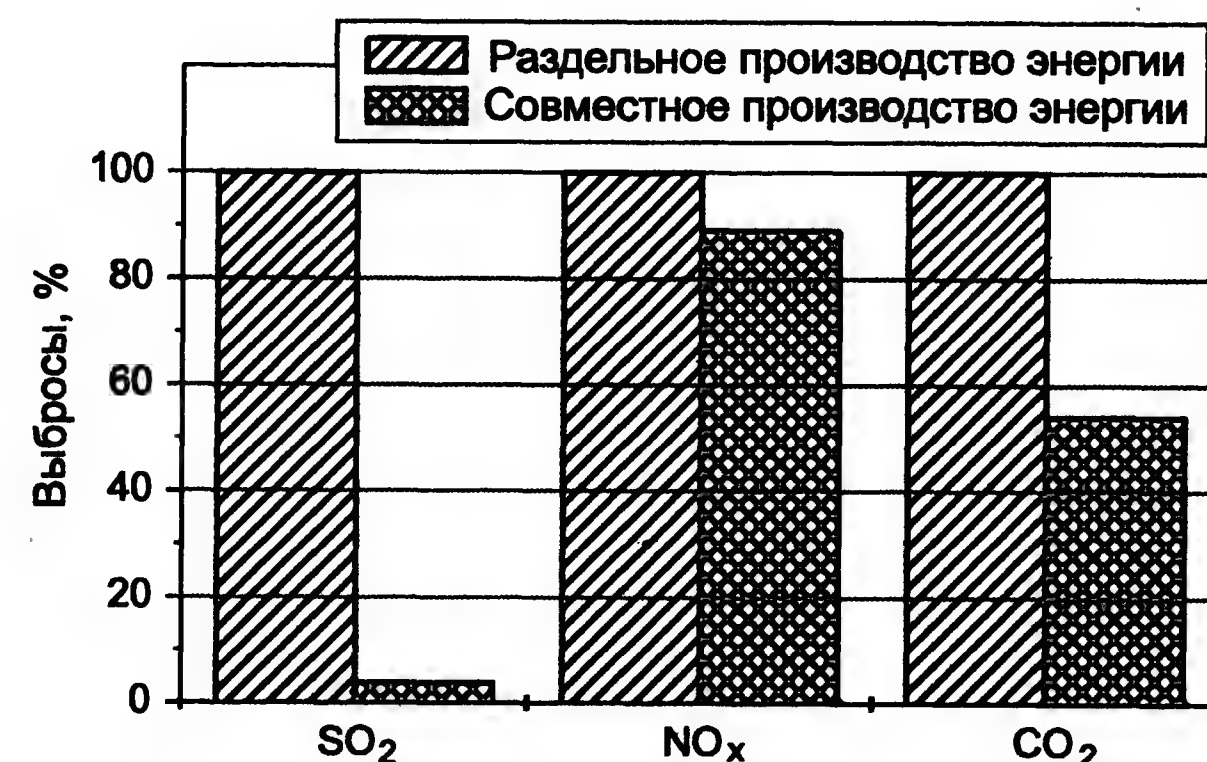


Рис. 5.3. Влияние технологии производства теплоты и электроэнергии на загрязнение окружающей среды

Уменьшение выбросов NO_x может быть также достигнуто путем подмешивания части отходящих дымовых газов к воздуху, подаваемому на горение. Для этого следует организовать рециркуляцию дымовых газов.

Внутреннее использование тепловых энергетических отходов в котельных установках и промышленных печах для подогрева питательной воды и предварительного подогрева первичного воздуха до 200–400 °С дает реальную экономию топлива. Так, при подогреве воздуха реальная экономия топлива в среднем может достигать 25 % (рис. 5.4).

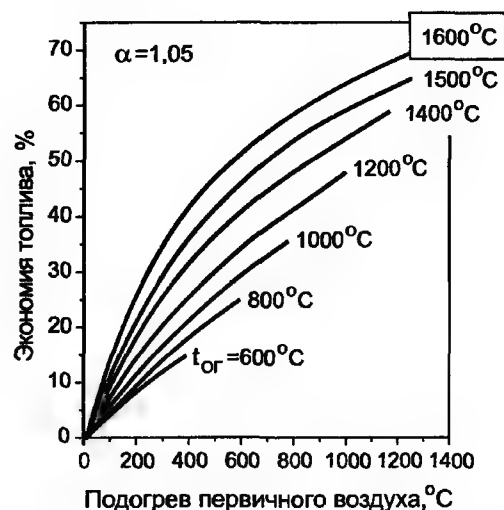


Рис. 5.4. Экономия топлива за счет подогрева первичного воздуха в зависимости от температуры дымовых газов $t_{ог}$

Поддержание оптимального состава топливовоздушной смеси позволяет достичь максимально возможной температуры горения, что снижает потребление топлива. При увеличении коэффициента избытка воздуха до 2 температура горения уменьшается на 40% (рис. 5.5).

Кроме того, при избытке воздуха дополнительное потребление топлива возрастает до 25% в зависимости от температуры отходящих газов. Оптимальный состав топливо-воздушной смеси можно поддерживать с помощью горелок с автоматическим управлением. Для этого дополнительно применяются системы сбора информации о химическом составе отходящих дымовых газов, ее обработка и на этой основе осуществляется автоматическое регулирование.

Контроль эффективности сгорания топлива базируется на измерении содержания CO_2 в отходящих дымовых газах. Считается, что при оптимальном сгорании природного газа получается от 8 до 9,5 % CO_2 , а при сгорании мазута – от 10 до 12,5 %.

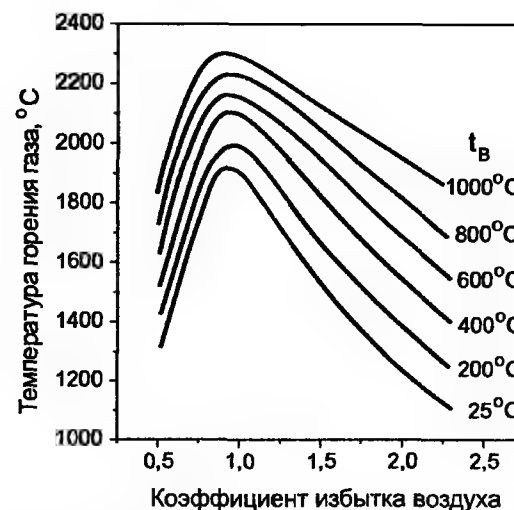


Рис. 5.5. Влияние коэффициента избытка и подогрева воздуха на температуру горения газа

Вместе с тем данные значения концентраций углекислого газа могут быть зафиксированы как при полном сгорании топлива ($\alpha > 1$), так и при его недожоге ($\alpha < 1$), т.е. возможна неоднозначность определения эффективности сжигания топлива на основе измерения только CO_2 (рис. 5.6). Поэтому рекомендуется дополнительно измерять в отходящих дымовых газах и содержание кислорода. Для оптимального режима горения оно должно иметь минимальное значение.

Сжигание топлива с повышенной влажностью требует дополнительного избытка воздуха, что приводит к снижению температуры в зоне горения, а следовательно, и эффективности процесса горения (рис. 5.7). Подогрев же первичного воздуха до 200 °C обеспечивает повышение температуры горения на 7 %.

Значительным источником вредных выбросов является транспорт. В некоторых странах на производство топлива для транспорта расходуется до 50 % потребляемой нефти. Автомобильные выхлопные газы содержат такие вредные

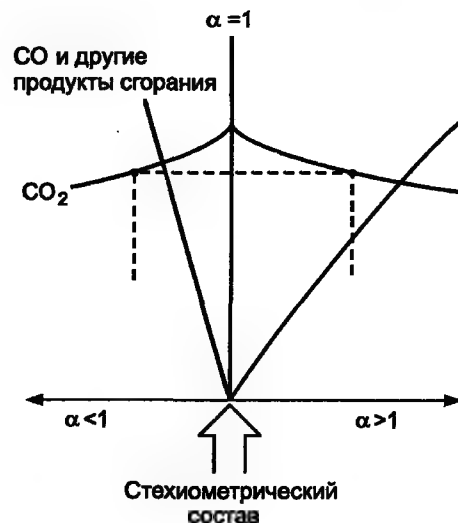


Рис. 5.6. Неоднозначность определения эффективности сжигания топлива на основе измерения только CO_2

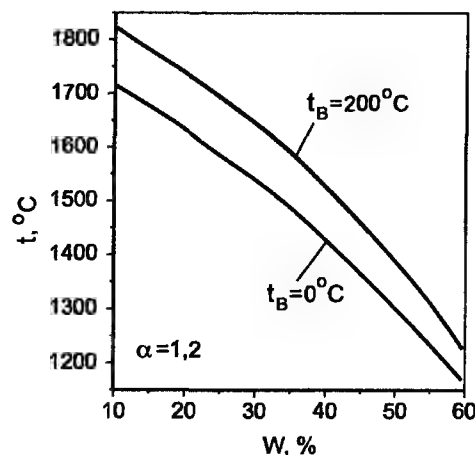


Рис. 5.7. Влияние влажности древесного топлива и предварительного подогрева воздуха на температуру горения

вещества, как окись углерода, летучие органические соединения, окись азота и свинец. Ядовитые выхлопные газы и свинец отрицательно влияют на нервную систему человека. Разработка технологий производства чистого горючего и улучшенных двигателей с минимальным потреблением топлива позволяет уменьшить загрязнение от транспортных средств. Количество потребляемого топлива транспортными средствами, как и в энергетике, зависит от оптимального состава топливовоздушной смеси.

Снижение потерь теплоты через ограждения агрегатов и устройств, которые используются при ее производстве, транспортировке и потреблении, также уменьшает расход топлива. Любые потери теплоты требуют компенсации, так как потребитель должен получить необходимое количество энергии для проведения технологических процессов или создания комфортных условий для работы, учебы, отдыха.

Уменьшение потребления энергии может быть достигнуто и за счет совершенствования технологических процессов, использования современного основного и вспомогательного энергосберегающего оборудования.

5.3. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Имеются диаметрально противоположные мнения о влиянии возобновляемых источников энергии на окружающую среду. Рассмотрим источники, которые являются перспективными для Беларуси.

Большую роль в энергообеспечении играет биомасса. В мире приблизительно половина населения готовит себе пищу, используя топливо из биомассы. Использование биомассы в виде топлива дает преимущества для экологии, так как при сгорании биомассы выделяется не больше CO_2 , чем при ее естественном разложении в природе.

Переработка навоза путем анаэробного сбраживания уменьшает выделение азота в грунтовые воды и метана

в атмосферу. Биомасса может быть использована в сочетании с органическим топливом – углем, торфом. Для утилизации биомассы с целью получения энергии используются современные устройства: топки с «кипящим» слоем, газогенераторы. Однако необходимо уделять внимание способам сжигания биомассы, так как некоторые из них в быту могут приводить к высокому уровню загрязнения в помещении, например использование очагов без установки труб, каминов с неправильно сконструированными дымоходами.

Наряду с биомассой в улучшении экологической обстановки значимую роль могут сыграть и другие возобновляемые источники энергии, например Солнце и ветер.

Гелиоустановки оказывают минимальное воздействие на окружающую среду.

Следует, однако, указать, что под его влиянием происходит разрушение некоторых материалов, что требует их замещения, связанного с использованием энергии. К таким материалам, например, относятся некоторые полимеры. Кроме дополнительного потребления энергии на их воспроизводство возникает проблема захоронения и переработки.

Ветроэнергетические установки оказывают значительно меньшее отрицательное воздействие на окружающую среду, чем замещаемые ими энергогенерирующие технологии на основе углеводородного топлива.

Вместе с тем строительство и эксплуатация ветроэнергетических установок связаны с необходимостью отчуждения земель (в том числе и сельскохозяйственного назначения) и изменением окружающего ландшафта. Кроме того, ветроэнергетические установки создают шум и вибрации, являются источником электромагнитного излучения. Шум вызывает раздражение, мешает работе, может приводить к функциональным изменениям в организме человека. Электромагнитное излучение создает радио- и тепломехи. Чтобы избежать этих воздействий, требуется создание санитарной зоны от нескольких сот метров до 2 км.

В странах, где используются ветроэнергетические установки, введены ограничения по шуму (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Предельные нормы по шуму ветроэнергетических установок

Страна	Промышленная зона, дБ	Сельские районы, дБ	Смешанная зона, дБ	Жилые кварталы, дБ
Дания	–	45	–	40
Германия:				
день	65	50	60	55
ночь	50	35	45	40
Голландия:				
день	–	40	50	45
ночь	–	30	40	35

Наивысшая выносимость к шуму у человека составляет 130 дБ. Исследования показывают, что животные уживаются с ВЭУ, а удачно выбранное для их размещения место создает минимальную опасность для птиц. Соблюдение требований по шуму и благоприятное размещение ВЭУ сводит ущерб, наносимый окружающей среде, к минимуму.

Развитие гидроэнергетики требует создания водохранилищ, что сопряжено с отчуждением земель, в том числе ценных для производства сельхозпродукции и развития животноводства, и их затоплением. В результате этого меняется инфраструктура в районе гидроэлектростанции, возрастает поверхность зеркала воды, изменяется ее температура по течению ниже плотины. Летом вода более холодная, а зимой – теплая. Это воздействует на микроклимат, так как повышается влажность. Кроме того, плотины препятствуют продвижению рыбы в верховье рек во время нереста. Чтобы возместить ущерб, требуется строить специальные водоводы.

Одной из проблем использования геотермальных источников для нужд теплоснабжения является то, что они

работают по разомкнутой схеме. И если засоление термальных вод значительное, сбросные воды будут также приводить к засолению земли.

В целом при соблюдении всех требований по охране окружающей среды возобновляемые источники энергии оказывают на нее минимальное воздействие. Кроме того, затраты на производство возобновляемой энергии постоянно снижаются, и она со временем может стать конкурентоспособной с источниками на ископаемом топливе.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как устроена атмосфера?
2. Источником каких вредных веществ, поступающих в атмосферу, являются энергетические объекты?
3. За счет каких мероприятий можно уменьшить потребление органического топлива?
4. В чем проявляется воздействие вредных выбросов на окружающую среду?
5. Что такое парниковый эффект?
6. Каково значение озонового слоя для жизнедеятельности на Земле?
7. Оказывают ли возобновляемые источники энергии отрицательное воздействие на окружающую среду?
8. Какие мероприятия в сфере энергетики позволяют снизить парниковый эффект?

ГЛАВА 6 || УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

6.1. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Общие принципы организации энергетического менеджмента на предприятии. Энергетическому менеджменту, как и менеджменту вообще, свойственны общие функции, которые учитывают конкретную специфику области управления. К ним относятся планирование, организация, мотивация, контроль и координация (рис. 6.1).

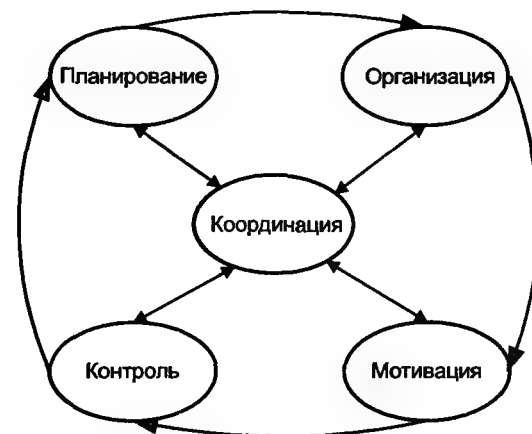


Рис. 6.1. Обобщенные функции энергетического менеджмента на предприятии

В основе практической реализации этих функций лежит информационный банк данных о динамике энергетических и материальных потоков на предприятии. Сбор, классификация и обработка этих данных проводятся, как правило, посредством внутреннего и внешнего менеджмента в рамках предварительного энергетического аудита.

Критический анализ собранной информации на основе структурных моделей производства позволяет сделать обоснованные выводы относительно энерготехнологической эффективности работы предприятия, а также разработать комплекс организационно-технических мероприятий (ОТМ) по ее повышению. Кроме того, сравнительный анализ удельных энергетических затрат на выпуск продукции установленного качества с показателями предприятий аналогичного профиля и отраслевой *нормой расхода ТЭР* на одноименную продукцию позволяет принять решение о необходимости модернизации исследуемого технологического процесса. Данные действия энергоменеджера непосредственно связаны с реализацией функций планирования и организации.

Планирование – это стадия процесса управления, на которой определяются цели деятельности, необходимые для этого средства, а также разрабатываются методы, наиболее эффективные для достижения цели в конкретных условиях. Планирование – это процесс подготовки и принятия решения (рис. 6.2). Более подробно этот элемент энергетического менеджмента будет рассмотрен в гл. 8.

Реализация функции менеджмента организация должна обеспечить условия успешного внедрения запланированных ОТМ, включая материалы, оборудование, денежные средства, обучение персонала и т. п. На этой стадии энергетический менеджер участвует в управлении предприятием при составлении бюджета по энергосбережению на следующий год, выработке производственных планов и стратегии предприятия. Кроме того, в его обязанности входит подготовка бизнес-планов для привлечения инвестиций из внешних источников с целью реализации высокозатратных энергосберегающих мероприятий.

Наиболее действенным и простым методом достижения большей энергоэффективности технологических процессов и оборудования на предприятии является внедрение в сознание персонала «психологии энергосбережения», т. е. осознанного и мотивированного применения на практике правил эффективного использования энергии.



Рис. 6.2. Этапы процесса принятия решения в сфере энергосбережения

В связи с этим в энергетическом менеджменте предприятия реализуется функция мотивация, цель которой – активизировать людей, работающих в организации, и побудить их эффективно использовать энергию. Для этого персонал предприятия информируется о деятельности по энергетическому менеджменту, о мерах по экономии энергии, предпринимаемых в настоящее время. Показываются выгоды организации в целом и каждого члена коллектива от экономии энергии.

На всех стадиях реализации функций энергетического менеджмента на предприятии организационные методы (включая и методы стимулирования) должны сопровождаться контрольными функциями.

Контроль основывается на учете результатов работы с количественной и качественной оценкой. Главным инструментом его реализации является наблюдение, провер-

ка всех сторон деятельности, учет и анализ. Контроль выступает как элемент обратной связи, так как по его данным производятся корректировки ранее принятых решений, планов, норм и нормативов. Контроль должен быть своевременным и простым.

Цели и объекты энергетического аудита. Целью энергетического аудита является получение простой, но исчерпывающей информации о ситуации с общим потоком энергии в пределах границ исследуемой системы, которая может быть, например, промышленным предприятием или технологической линией. Это помогает пониманию функционирования системы, раскрывает взаимосвязи и позволяет определить ее характеристики. Без информации, полученной в процессе энергетического аудита, энергетический менеджер работает с закрытыми глазами и склонен к принятию неустойчивых, плохо постижимых и неоптимальных решений.

Энергетический аудит приемлем для исследования любого вида деятельности, в котором происходит потребление ресурсов. Детальная информация о всех ресурсах, участвующих в процессе производства товаров, должна быть получена до того, как будет предпринята попытка повышения эффективности их использования в технологических процессах.

Собственно энергетический аудит может рассматривать: содержание энергии в товаре; энергию, потребляемую в процессе производства; аудит окружающей среды, т. е. аудит твердых, жидких и газообразных отходов.

Необходимо отметить, что, исследуя потоки энергии, энергетический менеджер должен быть очень аккуратным при установлении границ рассматриваемой системы и при определении потоков энергии и материалов в пределах этих границ. Оптимальная эффективность затрат, полученная в результате применения какого-либо метода сбережения ресурсов, никогда не может быть достигнута путем исследования, ограниченного до отдельных составляющих системы. Каждая система должна быть изучена целиком для того, чтобы определить основные центры по-

терь и сравнить эффективность затрат и влияние на окружающую среду для множества альтернативных вариантов или действий по модернизации.

Системный подход к энергетическому аудиту. Системный подход к энергетическому аудиту включает обзор, анализ, критику, генерирование возможных вариантов, оценку вариантов и их оптимизацию (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Схема критического анализа результатов энергетического аудита

Анализируемый параметр	Главный вопрос	Действительные факты	Альтернативы	Выбранная альтернатива
Цель	Что делается?	Что необходимо? Почему?	Что еще могло бы быть сделано?	Что должно быть сделано?
Средства	Как это делается?	Почему так?	Каким еще образом это может быть сделано?	Как это должно быть сделано?
Место	Где это делается?	Почему там?	Где еще это могло бы быть сделано?	Где это должно быть сделано?
Время	Когда это должно быть сделано?	Почему тогда?	Когда еще это могло бы быть сделано?	Когда это должно быть сделано?
Источник	Откуда поступают исходные ресурсы?	Почему этот источник?	Какие другие источники могли бы использоваться?	Какой источник должен использоваться?
Сток	Куда направляется сброс ресурсов?	Почему туда?	Куда еще он может быть перенаправлен?	Куда он должен быть направлен?

Подобный энерготехнологический анализ выделяет основные области, в которых появляются непроизводительные от-

ходы, и позволяет давать экономические оценки, ведущие к полностью обоснованным инвестиционным решениям.

Последовательные шаги циклического процесса проведения энергетического аудита (рис. 6.3) можно условно объединить в рамках четырех этапов.



Рис. 6.3. Схема проведения энергетического аудита

Э т а п 1. Опытный аудитор путем внешнего осмотра оборудования и бесед со специалистами может выявить места неэффективного использования энергоресурсов. Кроме того, путем знакомства с отчетностью предприятия анализируется ретроспективная информация о потреблении энергии в основных производствах и установках.

Э т а п 2. Составляется карта потребления энергии как по всем энергоносителям, так и по технологическим процессам, установкам и цехам (зданиям). Каждому зданию, процессу и установке присваивается код, который используется в последующей работе. Информация о потреблении энергии должна включать данные как за текущий период, так и за прошлые годы. Динамика потребления энергии позволяет сделать объективное заключение об эффективности ее использования.

На стадии разработки карты потребления энергии составляются энергетический и материальный балансы, которые позволяют выявить для каждого объекта факторы, влияющие на ее потребление. Энергетические балансы позволяют также осуществлять контроль соответствия фактических показателей энергопотребления нормативным.

Э т а п 3. Проводится более детальный анализ энергетической и экономической эффективности возможных мероприятий по экономии энергоресурсов. После такого анализа уточняется технически и экономически обоснованная программа экономии энергии. По результатам проведенных работ составляется отчет с целью принятия решения о проведении намеченных энергосберегающих мероприятий. Отчет включает описание инспектируемого объекта, результаты технического и экономического анализа. Он заканчивается рекомендациями по энергосбережению.

Э т а п 4. Внедрение разработанной программы энергосбережения. Аудитор выполняет функции консультанта и осуществляет надзор за реализацией принятой программы.

6.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ПРЕДПРИЯТИЯ

Энергетическое хозяйство предприятия. Составление и анализ энергетических балансов – важнейший элемент энергетического менеджмента предприятия. Анализ энергобалансов дает возможность установить фактическое состояние использования энергоресурсов в отдельных элементах предприятия и на предприятии в целом. Объектом подобного анализа является система энергоснабжения промышленного предприятия.

Энергетическое хозяйство предприятия включает два сектора: систему энергоснабжения предприятия и потребителей энергии (рис. 6.4).

Система энергоснабжения служит для надежного удовлетворения потребностей предприятия в необходимых видах энергии нужных параметров и качества. Общие принципы построения систем энергоснабжения одинаковы для любых предприятий и различаются только количеством включенных в них компонентов.

Необходимые виды энергии и энергоносителей могут поставляться предприятию через централизованное энергоснабжение (рис. 6.5).



Рис. 6.4. Укрупненная схема энергосбережения и потребления энергии предприятием

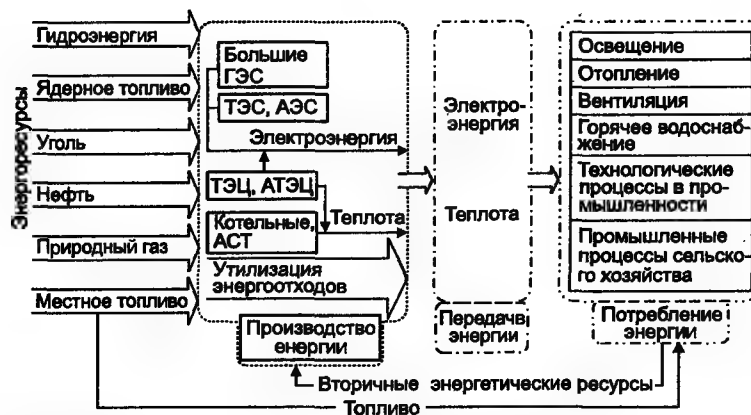


Рис. 6.5. Система централизованного энергоснабжения промышленных предприятий

К ним относятся электроэнергия, теплота и органическое топливо. Источником энергии может также служить непосредственно окружающая среда с потоками прямой или преобразованной энергии Солнца, а также энергия недр Земли. Кроме того, для нормального функционирования энергетического

хозяйства предприятия используются вода и воздух из водных и воздушных бассейнов Земли.

На следующей ступени системы энергоснабжения энергетические потоки при необходимости могут быть преобразованы в другие виды энергии или изменить свои параметры в соответствии с условиями эксплуатации потребляющих устройств.

Преобразование энергии осуществляется на ТЭЦ, в котельных, на компрессорных станциях, в холодильных установках, на тепловых пунктах, трансформаторных подстанциях и других объектах, которые входят в энергетическое хозяйство предприятия (рис. 6.6).

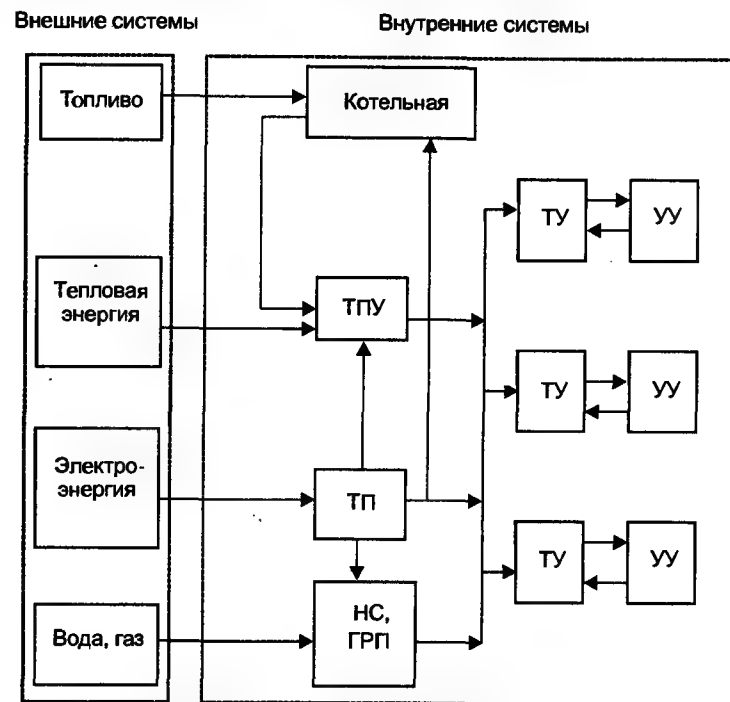


Рис. 6.6. Схема энергосистемы промышленного предприятия:

ТУ – технологические установки; УУ – утилизационные установки; ТП – трансформаторная подстанция; ТПУ – теплоузел; НС – насосная подстанция; ГРП – газорегуляторный пункт

Следует отметить, что в большинстве случаев размещение источников энергии и потребителей не совпадает. Поэтому энергетическое хозяйство предприятия должно включать разветвленную систему передачи и распределения энергии. В качестве источников энергии на предприятии могут служить также энергетические отходы (вторичные энергетические ресурсы). Эти отходы могут быть непосредственно готовыми к применению или использоваться после их преобразования. Данный вопрос рассматривается в следующей главе.

Основными потребителями энергии на предприятии являются:

- технологические потребители, непосредственно связанные с выпуском готовой продукции или оказанием услуг;
- системы освещения;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- горячее и холодное водоснабжение.

Технологические потребители в зависимости от отрасли промышленности и сферы услуг существенно отличаются друг от друга, хотя имеются и идентичные, например электропривод устройств, механизмов и агрегатов. В то же время вспомогательные потребители имеют общую основу и отличаются лишь деталями, учитываемыми спецификой производства. В целом энергетическое хозяйство предприятия представляет собой сложную разветвленную структуру, характеризующуюся взаимосвязанными энергетическими и материальными потоками различного вида и назначения.

Содержание и порядок проведения энергетического обследования предприятия. Обследование включает получение общей характеристики предприятия и данных, необходимых для оценки резервов экономии энергоресурсов.

Для всестороннего анализа использования ТЭР на предприятии составляются следующие виды энергобалансов:

- по видам используемых энергоносителей (топливо, тепловая энергия, электрическая энергия, механическая энергия);
- по целевому назначению, т. е. с выделением расхода на технологию и вспомогательные нужды (отопление, вентиляцию, освещение и др.);
- по производственно-территориальным единицам (цехам, участкам и т. д.);
- полный энергетический баланс.

Анализ приходной и расходной частей энергетического баланса позволяет установить специфику энергопотребления и эффективность использования энергоресурсов на промышленном предприятии. Полный энергетический баланс (в тепловом эквиваленте) включает все виды энергии, претерпевающие преобразование на предприятии.

При проведении энергетического обследования в общей характеристике предприятия должны быть отражены следующие вопросы:

- номенклатура продукции и фактические удельные расходы энергоресурсов на ее производство за год, предшествовавший началу проведения энергетического обследования;
- источники и схема энергоснабжения;
- показатели суточных (зимнего и летнего) графиков электрической и тепловой нагрузки;
- доля энергетической составляющей в себестоимости продукции;
- организационная структура энергетической службы.

Для оценки эффективности энергопользования проводится обследование по следующим направлениям:

- *состояние технического учета:*
способы учета (расчетный, приборный, опытно-расчетный);
- формы получения, обработки и представления информации о контроле расхода энергии по цехам, участкам, энергоемким агрегатам;
- соответствие схемы учета энергии структуре норм; оснащение приборами расхода ТЭР;

- *состояние нормирования:*

наличие на предприятии утвержденных норм расхода энергоресурсов;

охват нормированием статей потребления энергоресурсов;

фактическая структура норм и соответствие ее технологии и организации производства;

динамика норм и удельных расходов за три предшествующих обследованию года;

- *определение резервов экономии энергетических ресурсов* на основании обследования оборудования и технологических процессов, состояния использования ВЭР.

По результатам проведения энергетического обследования предприятия составляется перечень *организационно-технических мероприятий* (ОТМ) по экономии топлива и энергии.

Системный подход к анализу энергоэффективности технологических процессов предполагает выделение иерархических уровней соподчинения энерготехнологических элементов систем энергоснабжения и энергопользования промышленного предприятия (рис. 6.7).

Составление подобных схем помогает не только систематизировать и осмыслить исходную информацию о состоянии потребления ТЭР на предприятии, но и является основой для проведения интегрированного анализа эффективности реализации организационно-технических мероприятий по их экономии.

Расчетный анализ энергетических балансов. Расчетный анализ расходов электрической энергии может быть выполнен на основе следующих соотношений:

- *расход электроэнергии на технологические установки, кВт·ч,*

$$W = N_{\text{н}} k_{\text{н}} t,$$

где $N_{\text{н}}$ – номинальная мощность электродвигателя технологической установки, кВт; $k_{\text{н}}$ – коэффициент использования мощности электродвигателя; t – рассматриваемый промежуток времени, ч;



Рис. 6.7. Уровни иерархии энергосистемы промышленного предприятия

- *расход электроэнергии на освещение, кВт·ч,*

$$W_{\text{с}} = (E_j S_j z / C_j) t_j \cdot 10^{-3},$$

где E_j – норма освещенности в j -м помещении, лк (люкс – единица измерения освещенности); S_j – площадь j -го помещения, м^2 ; z – коэффициент неравномерности освещения, принимающий значения от 1,1 до 1,15; t_j – время работы светильника в j -м помещении, ч; C_j – световая отдача светильника, лм/Вт (люмен – единица измерения светового потока), определяется по соотношению

$$C_j = (\Phi/N_c)n_c,$$

где Φ – световой поток лампы светильника, лм; N_c – номинальная мощность лампы, Вт; n_c – КПД светильника.

Расчетный анализ содержания тепловой энергии в приходной и расходной частях энергетического баланса может быть выполнен на основе следующих соотношений:

- *содержание химической энергии, теплота фазовых превращений*, Гкал,

$$Q_{\Pi} = M r 10^{-6},$$

где M – расход материального потока за рассматриваемый промежуток времени (час, год), кг или м^3 ; r – удельная химическая энергия, энергия фазовых превращений, ккал/кг или ккал/ м^3 ;

- *теплосодержание материальных потоков*, Гкал,

$$Q_{\text{м}} = M c T \cdot 10^{-6},$$

где c – массовая или объемная удельная теплоемкость материального потока M , ккал/(кг·град) или ккал/(м^3 ·град); T – температура потока, °C;

- *расход теплоты на отопление*, Гкал,

$$Q_{\text{от}} = q_o V (T_{\text{вн}} - T_{\text{ос}}) t \cdot 10^{-6},$$

где q_o – объемная отопительная характеристика объекта, ккал/(м^2 ·ч·град); V – внешний объем объекта, м^3 ; $T_{\text{вн}}$, $T_{\text{ос}}$ – температуры внутри и вне объекта, °C; t – рассматриваемый промежуток времени, ч;

- *расход тепла на вентиляцию*, Гкал,

$$Q_{\text{в}} = q_{\text{в}} V (T_{\text{вн}} - T_{\text{ос}}) t \cdot 10^{-6},$$

где $q_{\text{в}} = m c_{\text{в}} (V_{\text{в}}/V)$; m – кратность воздухообмена, 1/ч; $c_{\text{в}}$ – объемная удельная теплоемкость воздуха, ккал/(м^3 ·град); $V_{\text{в}}$ – вентилируемый объем, м^3 ;

- *потери теплоты с дымовыми газами*, Гкал,

$$Q_{\text{дг}} = V_{\text{дг}} c_{\text{дг}} T_{\text{дг}} \cdot 10^{-6},$$

где $V_{\text{дг}}$ – выход дымовых газов на 1 м^3 газообразного или на 1 кг твердого топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$; $c_{\text{дг}}$ – объемная удельная теплоемкость дымовых газов, ккал/(м^3 ·град); $T_{\text{дг}}$ – температура дымовых газов;

- *тепловой эквивалент электрической энергии*, Гкал,

$$Q = W \cdot 0,86 \cdot 10^{-3},$$

где W – подведенная (потребленная) за рассматриваемый промежуток времени (час, год) электрическая энергия, кВт.

6.3. НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Общие задачи. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) – это определение меры рационального потребления этих ресурсов на единицу продукции установленного качества. Основная задача нормирования энергопотребления как составной части энергетического менеджмента – обеспечить применение в производстве методов рационального распределения и эффективного использования энергоресурсов.

Норма расхода ТЭР позволяет:

- планировать потребность ТЭР на производство определенного количества продукции;
- анализировать работу предприятия и его подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов ТЭР;
- определять удельную энергоемкость данного вида продукции;
- сравнивать энергоемкость одноименного продукта, производимого разными способами.

В основе составления норм расхода ТЭР лежит анализ энергетических балансов промышленных предприятий.

Классификация норм расхода ТЭР. Нормы расхода топлива, тепловой, электрической и механической энер-

гии различаются как по степени агрегации – индивидуальные, групповые, так и по составу расходов – технологические, общепроизводственные (рис. 6.8).

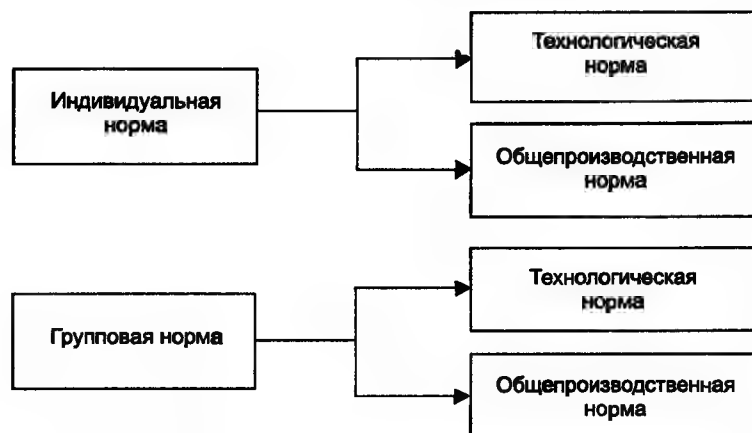


Рис. 6.8. Классификация норм расхода ТЭР по степени агрегации и по составу расходов

Индивидуальная норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы определенного продукта, изготавливаемого определенным способом на конкретном оборудовании.

Групповая норма расхода ТЭР – это норма расхода на производство единицы одноименной продукции, изготавливаемой по различным технологическим схемам, на разнотипном оборудовании, из различного сырья.

Технологическая норма расхода ТЭР – это норма расхода на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции.

Общепроизводственная норма расхода ТЭР – это норма, которая учитывает расходы энергии на основные и вспомогательные технологические процессы, на вспомогательные нужды производства, а также технически неизбежные потери энергии в преобразователях, тепловых и

электрических сетях предприятий, отнесенные на производство данной продукции.

Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР представлен на рис. 6.9.

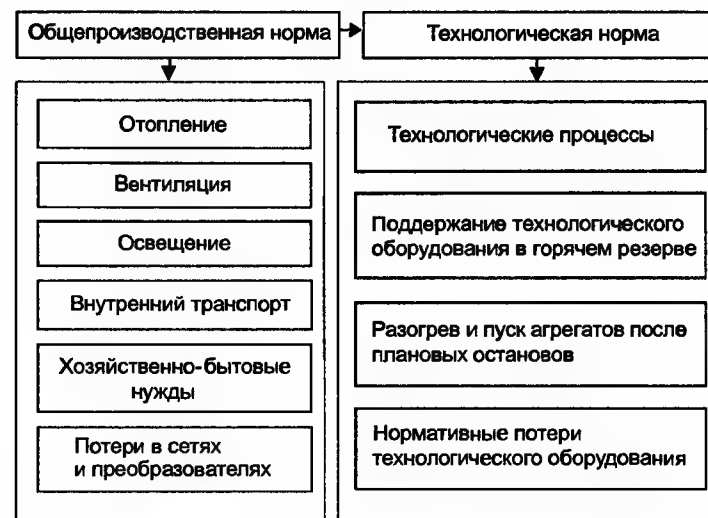


Рис. 6.9. Примерный состав технологической и общепроизводственной норм расхода ТЭР

Основными методами разработки норм расхода ТЭР являются:

- опытный (приборный);
- расчетно-статистический – на основе статистических данных об удельных энергетических затратах за ряд предшествующих лет, т. е. метод экстраполяции или энергетического планирования;
- расчетно-аналитический – на основе математического описания энергопотребления с учетом нормообразующих факторов.

Расчетно-статистический и расчетно-аналитический методы применяются для разработки как индивидуальных, так и групповых норм расхода ТЭР. Опытный (при-

борный, приборно-расчетный) метод применяется для определения только индивидуальных групповых норм расхода ТЭР.

Расчет норм расхода ТЭР. Индивидуальная норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$H_{\text{и}} = \sum_{j=1}^m e_j,$$

где e_j , m – статьи расхода и количество статей расхода, по которым рассчитывается норма.

Если одна из статей расхода намного превосходит остальные, целесообразно представить $H_{\text{и}}$ в виде

$$H_{\text{и}} = e_{\text{max}} \left(1 + \sum_{j=1}^{m-1} \delta_j \right),$$

где $\delta_j = e_j / e_{\text{max}}$.

Групповая норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$H_{\text{гр}} = \sum_{i=1}^k (H_{\text{и}})_i \delta_i,$$

где $(H_{\text{и}})_i$ – индивидуальная норма расхода по i -й технологической группе; $\delta_i = V_i / V$ – удельный вес i -й составляющей в общем объеме производства продукции, k – количество технологических групп.

Технологическая цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$T_{\text{л},j}^{\text{н}} = E^{\text{т}} / V_{j,i},$$

где $T_{\text{л},j}^{\text{н}}$ – технологическая цеховая норма расхода энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе; $E^{\text{т}}$ – расход энергоресурсов на технологический процесс; $V_{j,i}$ – объем производства i -го продукта (товарного) или его составляющей (полупродукта) в j -м цехе.

Технологическая заводская (отраслевая) норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$Z^{\text{т}} = \sum_{j=1}^n T_j^{\text{н}} (V_{j,l} / V_l),$$

где n – количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих продукцию; V_l – объем производства l -го продукта на предприятии.

Пример 1.

Характеристика промышленных предприятий:

♦ Предприятие № 1.

Затраты ТЭР:

- на основной технологический процесс – $5 \cdot 10^6$ МДж;
- на разогрев и пуск оборудования – $3 \cdot 10^5$ МДж;
- на плановые потери – $2 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 10 000.

♦ Предприятие № 2.

Затраты ТЭР:

- на основной технологический процесс – $2 \cdot 10^7$ МДж;
- на разогрев и пуск оборудования – $5 \cdot 10^5$ МДж;
- на плановые потери – $4 \cdot 10^5$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 20 000.

З а д а н и е.

1. Определить индивидуальные технологические нормы.
2. Найти групповую технологическую норму.
3. Сделать выводы относительно энергоэффективности технологических процессов.

Р е ш е н и е.

В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и технологической норм:

$(T^{\text{н}})_1 = (5 \cdot 10^6 \text{ МДж} + 3 \cdot 10^5 \text{ МДж} + 2 \cdot 10^5 \text{ МДж}) / 10\,000 \text{ ед. продукции} = 0,55 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$

$(T^{\text{н}})_2 = (2 \cdot 10^7 \text{ МДж} + 5 \cdot 10^5 \text{ МДж} + 4 \cdot 10^5 \text{ МДж}) / 20\,000 \text{ ед. продукции} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$

$T^{\text{т}} = (0,55 \cdot 1/3 + 1,04 \cdot 2/3) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 0,82 \times 10^3 \text{ МДж/ед.}$

Выводы.

1. Технологический процесс на предприятии № 1 организован с меньшими затратами ТЭР на выпуск одноименной продукции, чем на предприятии № 2.

2. Групповая технологическая норма ближе к индивидуальной технологической норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

Общепроизводственная цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$\Pi_{i,j}^H = T_{i,j}^H + E_j (k_{j,i} / V_{j,i}),$$

где $\Pi_{i,j}^H$ – общепроизводственная цеховая норма расхода энергоресурсов на производство i -го продукта в j -м цехе; $T_{i,j}^H$ – удельный расход энергоресурсов на технологический процесс производства i -го продукта в j -м цехе; E_j – суммарный расход энергоресурсов на вспомогательные нужды j -го цеха; $V_{j,i}$ – объем производства i -го продукта в j -м цехе; $k_{j,i}$ – коэффициент пропорциональности, согласно которому производится распределение общепроизводственных цеховых затрат энергии по видам продукции.

Пример 2.

Характеристика промышленного предприятия:

На предприятии два цеха.

В целом на освещение предприятия расходуется 75 МВт·ч.

Характеристика цехов:

Цех № 1: площадь освещения – 1000 м².

Цех № 2: площадь освещения – 4000 м².

Задача.

Определить затраты энергии на освещение по каждому из цехов для установления общепроизводственной нормы расхода ТЭР.

Решение.

$$E_1 = 75 \text{ МВт·ч} (1000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 15 \text{ МВт·ч};$$

$$E_2 = 75 \text{ МВт·ч} (4000 \text{ м}^2 / 5000 \text{ м}^2) = 60 \text{ МВт·ч}.$$

Если цех производит продукцию одного вида (одного качества), то $k_{j,i} = 1$. В этом случае общепроизводственная цеховая норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$\Pi^H = (E^T + E^B) / V,$$

где E^T – расход энергоресурсов на технологический процесс; E^B – расход энергоресурсов на вспомогательные нужды; V – объем производства продукта в цехе. Анализ соотношения суммарных энергетических затрат на производство продукта в цехе и энергетических затрат на технологический процесс проводится по соотношению

$$N^T = (E^T / (E^T + E^B)) 100\%.$$

Общепроизводственная заводская (отраслевая) норма расхода ТЭР определяется по соотношению

$$Z^H = \sum_{j=1}^n \Pi_j^H \alpha_j,$$

где α_j – доля i -го цеха в общем объеме выпуска одноименной продукции; n – количество цехов предприятия (предприятий), выпускающих одноименную продукцию.

Пример 3.

Характеристика промышленных предприятий:

Предприятие № 1.

Индивидуальная технологическая норма – $0,55 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства – $1 \cdot 10^6$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 10 000.

Предприятие № 2.

Индивидуальная технологическая норма – $1,04 \cdot 10^3$ МДж/ед. продукции.

Затраты ТЭР на вспомогательные нужды производства – $0,5 \cdot 10^7$ МДж.

Количество единиц выпускаемой продукции – 20 000.

Задача.

1. Определить индивидуальные общепроизводственные нормы.
2. Найти групповую общепроизводственную норму.

3. Сделать вывод относительно энергоэффективности организации производства на предприятиях.

Решение.

В соответствии с определениями индивидуальной, групповой и общепроизводственной норм:

$(\mathcal{E}^{\text{и}})_1 = (0,55 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} + 1 \cdot 10^6 \text{ МДж/} 10\,000 \text{ ед. продукции}) = (0,55 + 0,1) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 0,65 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$

$(\mathcal{E}^{\text{и}})_2 = (1,04 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} + 0,5 \cdot 10^7 \text{ МДж/} 20\,000 \text{ ед. продукции}) = (1,04 + 0,25) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 1,29 \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции};$

$\mathcal{E}^{\text{г}} = (0,65 \cdot 1/3 + 1,29 \cdot 2/3) \cdot 10^3 \text{ МДж/ед. продукции} = 1,08 \times 10^3 \text{ МДж/ед. продукции}.$

Выводы.

1. На предприятии № 1 затрачивается меньшее количество ТЭР на выпуск единицы одноименной продукции, чем на предприятии № 2. Следовательно, производственный процесс на предприятии № 1 организован эффективнее.

2. Групповая общепроизводственная норма ближе к индивидуальной общепроизводственной норме на предприятии № 2, так как оно выпускает продукции больше, чем предприятие № 1.

Вспомогательные критерии энергетической эффективности. Для проведения режима энергосбережения и анализа энергоиспользования наряду с нормами расхода ТЭР должны применяться следующие показатели, характеризующие эффективность использования ТЭР на предприятии или в отрасли: удельная энергоемкость продукции (работ, услуг), обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии, энергопроизводительность.

Удельная энергоемкость продукции – отношение всей потребляемой на производственные нужды за год энергии к годовому объему продукции:

$$E = \Pi_{\text{ТЭР}} / V,$$

где $\Pi_{\text{ТЭР}}$ – вся энергия, потребляемая на производственные нужды за год (в пересчете на условное топливо); V – годовой объем продукции (в натуральном, условном или стоимостном выражении).

Обеспеченность прироста потребности в ТЭР за счет их экономии – отношение экономии ТЭР к приросту потребности в ТЭР:

$$\Delta \Pi_{\mathcal{E}} = (\mathcal{E} / \Delta \Pi) \cdot 100 \%;$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{н}} + \mathcal{E}_{\text{ВЭР}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = (H_i - H_6) V_i,$$

где $\mathcal{E}$ – экономия ТЭР; $\Delta \Pi$ – прирост потребности в ТЭР; $\mathcal{E}_{\text{н}}$ – экономия за счет снижения норм расхода по отношению к базисному году (за базисный принимается среднестатистический год, предшествующий отчетному); $\mathcal{E}_{\text{ВЭР}}$ – экономия за счет увеличения использования ВЭР по отношению к i -му году; H_6 , H_i – нормы расхода энергоресурса в базисном и отчетном годах; V_i – объем выпуска продукции в отчетном году.

Энергопроизводительность – выход продукции на единицу стоимости ТЭР:

$$\mathcal{E} \Pi \text{Р} = V_i / \mathcal{E}_{\text{ТЭР}},$$

где V_i – объем выпуска продукции (в стоимостном выражении); $\mathcal{E}_{\text{ТЭР}}$ – объем затрат ТЭР (в стоимостном выражении).

6.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВИДУ И СОСТАВУ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Классификация организационно-технических мероприятий по экономии ТЭР. К основным классификационным признакам ОТМ по экономии ТЭР можно отнести (рис. 6.10):

- снижение потребления энергии;
- замещение используемых энергоресурсов иными источниками энергии;
- повышение коэффициента использования ТЭР.



Рис. 6.10. Классификация ОТМ по экономии ТЭР

Вместе с тем при определении энергетической и соответственно экономической эффективности проводимых организационно-технических мероприятий следует учитывать ряд факторов, которые могут приводить к увеличению потребления ТЭР, но при этом как совершенствовать саму технологию, так и повышать качество конечной продукции. К факторам, повышающим удельный расход ТЭР, можно прежде всего отнести охрану окружающей среды, повышение безопасности и надежности технологического оборудования, а также повышение (расширение) потребительских качеств продукции.

По виду и составу получаемого экономического эффекта все ОТМ можно разделить следующим образом.

1. Мероприятия в системе энергоснабжения, не влияющие на производственный процесс. Экономический эффект при реализации данного типа мероприятий может

достигаться за счет сокращения энергетических потерь и издержек производства, передачи и распределения энергии на ТЭЦ и в котельных, в компрессорных и холодильных станциях и т. п.; в тепловых, электрических и других энергетических сетях; в трансформаторах, центральных бойлерных и т. п.

2. Мероприятия в системе энергоснабжения, влияющие на производственный процесс. При проведении подобных мероприятий может поменяться количество и качество энергии, передаваемой из системы энергоснабжения в систему энергопользования, а в результате – реконструируется или интенсифицируется производственный процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения издержек при производстве, передаче и распределении энергии, а также получения выгод в самом производственном процессе (увеличения выпуска продукции, повышения ее качества, сокращения расхода материалов и т. д.).

3. Мероприятия в системе энергопользования, не влияющие на технологический процесс. К этим мероприятиям относятся все работы во вспомогательных системах обеспечения основного технологического процесса (например, отопление, вентиляция, горячее водоснабжение, освещение), а также во вспомогательных цехах и службах, если они непосредственно не влияют на основной технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии во вспомогательном производстве, сокращения эксплуатационных расходов в основном и вспомогательном производстве.

4. Мероприятия в системе энергопользования, влияющие на технологический процесс. В системе энергопользования таких работ большинство, так как энергопотребляющие агрегаты прямо встроены в технологический процесс. Экономический эффект в этом случае достигается за счет экономии энергии и сокращения эксплуатационных расходов в основном производстве.

5. Мероприятия, повышающие надежность работы энергоустановок. Они могут осуществляться как в систе-

ме энергоснабжения, так и в системе энергопользования. Экономический эффект в данном случае определяется по предотвращенному (или сниженному) ущербу от некачественного энергоснабжения (например, от перерывов в энергоснабжении, отклонения параметров энергии от заданных и т. п.).

Расчет эффекта от реализации ОТМ. Экономия энергоресурсов от внедрения ОТМ в производстве конкретного продукта, в котором отсутствуют структурные группы, равна

$$\Theta = \Theta_m = \sum_{j=1}^n (\Theta_m)_j,$$

где Θ_m – экономия ТЭР от внедрения ОТМ по продукту в целом; $(\Theta_m)_j$ – экономия ТЭР от внедрения конкретного j -го мероприятия; n – количество мероприятий по данному продукту.

Экономия ТЭР от внедрения конкретного j -го мероприятия может быть найдена специальным расчетом или по формуле

$$(\Theta_m)_j = \Psi_j V_j,$$

где Ψ_j – величина экономии нормируемого вида ТЭР на единицу объема внедрения мероприятия; V_j – объем потребления ТЭР или объем производства продукции по объектам, где будет внедряться данное мероприятие.

При наличии структурных групп экономия ТЭР от внедрения ОТМ в производство продукта

$$\Theta = \Theta_m + \Theta_c = \sum_{i=1}^n [(\Theta_m)_i + (\Theta_c)_i],$$

где Θ_c – экономия ТЭР от изменения объемов производства в структурных группах в целом по продукту; $(\Theta_m)_i$ – экономия ТЭР от внедрения ОТМ в структурных группах; $(\Theta_c)_i$ – экономия ТЭР от изменения объемов производства в i -й структурной группе; n – количество структурных групп.

Экономия ТЭР от изменения объемов производства в i -й структурной группе $(\Theta_c)_i$ равна

$$(\Theta_c)_i = ((H_6)_i - H_6) (V_i - (V_6)_i),$$

где $(H_6)_i$ и H_6 – нормы расхода энергоресурса в базисном году по структурной группе и по продукту; V_i и $(V_6)_i$ – план производства по структурной группе в планируемом и базисном годах.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цели и методы энергетического аудита?
2. Приведите классификацию энергетических балансов по виду и целевому назначению.
3. Какие методы используются для составления энергетических балансов промышленных предприятий?
4. С использованием каких соотношений проводится расчетный анализ энергетических балансов?
5. Каким образом можно рассчитать эффект от реализации организационно-технических мероприятий (ОТМ)?
6. Приведите классификацию норм расхода топливно-энергетических ресурсов.
7. С использованием каких соотношений производится расчет норм расхода топливно-энергетических ресурсов?
8. Какие вспомогательные критерии применяются для анализа энергопользования?
9. Как классифицируются ОТМ по экономии ТЭР?

7.1. ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Классификация энергетических отходов. При употреблении энергии и материалов в технологических процессах, на вспомогательные нужды или в сфере услуг потенциал энергоносителей используется не полностью. Та часть энергии, которая прямо или косвенно не используется как полезная для выпуска готовой продукции или услуг, называется **энергетическими отходами**. Общие энергетические отходы равны разности между энергией, поступающей в технологический аппарат, и полезно используемой энергией.

Общие энергетические отходы разделяют на три вида (рис. 7.1):

- неизбежные потери в технологическом агрегате или установке;
- энергетические отходы внутреннего использования, которые возвращаются обратно в технологический агрегат;

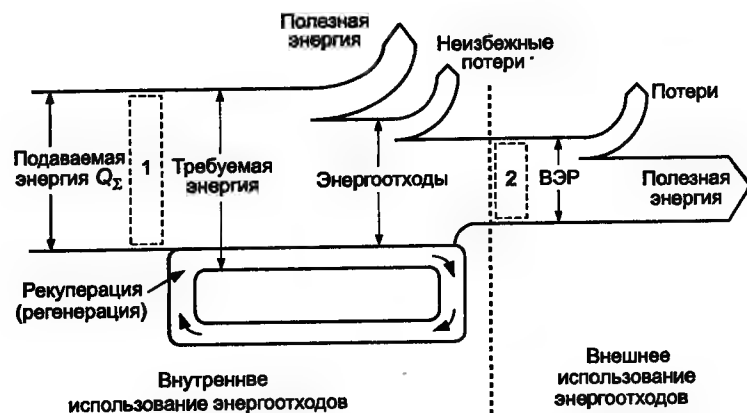


Рис. 7.1. Схема использования энергетических отходов:
1 — потребитель энергии; 2 — утилизационная установка

гат (установку) за счет регенерации или рециркуляции и в результате этого сокращают количество подведенной первичной энергии при неизменной величине поступления энергии в технологический агрегат;

• энергетические отходы внешнего использования, представляющие собой **вторичные энергетические ресурсы**, — энергетический потенциал отходов продукции, побочных и промежуточных отходов, образующихся в технологических установках (системах), который не используется в самой установке, но может быть частично или полностью использован для энергоснабжения других установок.

Технологический агрегат или установка, являющаяся источником отходов энергии, которую можно использовать как полезную, называется **агрегатом — источником или установкой — источником ВЭР**.

Выработка энергоносителей (водяного пара, горячей или охлажденной воды, электроэнергии, механической работы) за счет снижения энергетического потенциала носителя ВЭР осуществляется в **утилизационной установке**.

Энергетический потенциал отходов и продукции классифицируется по запасу энергии в виде химически связанной теплоты (**горючие ВЭР**), физической теплоты (**тепловые ВЭР**), потенциальной энергии избыточного давления (**ВЭР избыточного давления**). Потенциал горючих ВЭР характеризуется низшей теплотой сгорания Q_H^P , тепловых — перепадом энтальпий Δh , избыточного давления — работой изэнтропного расширения L . Во всех случаях единицей измерения энергетического потенциала является кДж/кг, или кДж/м³.

ВЭР могут применяться по следующим направлениям:

- топливному — с использованием не пригодных к дальнейшей переработке горючих отходов в качестве топлива;
- тепловому (холодильному) — с использованием теплоты отходящих газов печей и котлов, теплоты основной, промежуточной и побочной продукции, отработанной теплоты горячих воды, пара и воздуха и ВЭР избыточного давления;
- силовому — с использованием механической и электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР;

• комбинированному – для производства теплоты (холода), электрической или механической энергии.

Выход ВЭР и экономия топлива за счет их использования. При разработке предложений и проектов по утилизации энергетических отходов необходимо знать выход ВЭР. Различают удельный и общий выход ВЭР.

Удельный выход ВЭР рассчитывают или в единицу времени (1 ч) работы агрегата – источника ВЭР, или в показателях на единицу продукции.

Удельный выход горючих ВЭР определяется по формуле

$$q^T = mQ_H^P, \quad (7.1)$$

где m – удельное количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг(м³)/ед. продукции или кг(м³)/ч.

Удельный выход тепловых ВЭР определяется по соотношению

$$q^T = m\Delta h = m(c_{p1}t_1 - c_{p2}t_2), \quad (7.2)$$

где t_1 – температура энергоносителя на выходе из агрегата – источника ВЭР, °С; c_{p1} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_1 , кДж/(кг·°С) или кДж/(м³·°С); t_2 – температура энергоносителя, поступающего на следующую стадию технологического процесса после утилизационной установки, или температура окружающей среды, °С; c_{p2} – теплоемкость энергоносителя при температуре t_2 , кДж/кг или кДж/м³.

Удельный выход ВЭР избыточного давления рассчитывается по формуле

$$q^H = mL, \quad (7.3)$$

где L – работа изобарного расширения энергоносителя, кДж/кг.

Общий выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют исходя из удельного или часового:

$$Q_B = q_{уд} \Pi \quad (7.4a)$$

или

$$Q_B = q_{ч} \tau, \quad (7.4b)$$

где $q_{уд}$ – удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции; Π – выпуск основной продукции или расход сырья, топлива, к которому отнесен $q_{уд}$ за рассматриваемый период, ед. продукции; $q_{ч}$ – часовой выход ВЭР, кДж/ч; τ – время работы агрегата – источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

Только часть энергии из общего выхода ВЭР может быть использована как полезная. Поэтому для оценки реального потенциала ВЭР, пригодного к использованию, рассчитывают возможную выработку энергии за счет ВЭР.

Возможная выработка теплоты в утилизационной установке за счет ВЭР для нагрева энергоносителей пара или горячей воды за рассматриваемый период времени

$$Q_T = \Pi m (h_1 - h_2) \beta (1 - \xi), \quad (7.5)$$

где h_1 – энтальпия энергоносителя на выходе из технологического агрегата – источника ВЭР, кДж/кг(м³); h_2 – энтальпия энергоносителя при температуре t_2 на выходе из утилизационной установки, кДж/кг(м³); β – коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы утилизационной установки и агрегата – источника ВЭР (β изменяется в пределах от 0,7 до 1,0); ξ – коэффициент потерь энергии в окружающую среду утилизационной установкой и на тракте между агрегатом – источником ВЭР и утилизационной установкой (ξ принимает значения от 0,02 до 0,05).

Возможную выработку теплоты в утилизационной установке можно также определить по формуле

$$Q_T = Q_B \eta_y, \quad (7.6)$$

где η_y – КПД утилизационной установки.

Теплота, выработанная в утилизационной установке, может использоваться не полностью, что характеризуется коэффициентом использования выработанной теплоты

$$\sigma = Q_{\text{и}} / Q_T, \quad (7.7)$$

где $Q_{\text{и}}$ – использованная теплота (σ может изменяться от 0,5 до 0,9).

Возможная выработка электроэнергии в утилизационной турбине за счет избыточного давления

$$W = \Pi m L \eta_{\text{от}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}}, \quad (7.8)$$

где $\eta_{\text{от}}$ – относительный внутренний КПД турбины; $\eta_{\text{м}}$ – механический КПД турбины; $\eta_{\text{г}}$ – КПД электрогенератора.

При использовании горючих ВЭР достигается экономия замещаемого топлива

$$\Delta B = 0,0342 Q_{\text{и}} \eta_{\text{ВЭР}} / \eta_3, \text{ т у. т.}, \quad (7.9)$$

где $Q_{\text{и}}$ – использованные горючие ВЭР за рассматриваемый период, ГДж; 0,0342 – численное значение коэффициента для перевода 1 ГДж в тонну условного топлива; $\eta_{\text{ВЭР}}$ и η_3 – КПД утилизационной установки, работающей на горючих ВЭР, и установки, работающей на замещаемом топливе (η_3 принимает значения от 0,8 до 0,92).

При использовании тепловых ВЭР экономия топлива равна

$$\Delta B = b_3 Q_{\text{и}}, \quad (7.10)$$

где $b_3 = 0,0342 / \eta_3$ – удельный расход условного топлива, т/кДж, на выработку теплоты в замещаемой котельной установке.

При выработке на утилизационной установке электроэнергии или механической работы экономия топлива определяется по формуле

$$\Delta B = b_3 Q_{\text{и}}. \quad (7.11)$$

На основе результатов расчета экономии топлива за счет использования ВЭР определяется степень утилизации вторичных энергоресурсов на предприятии.

Пример 1. Определить экономию условного топлива при использовании теплоты ВЭР в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов промышленной печи, если энтальпия газов на выходе из печи $h_1 = 15\,000$ кДж/м³, на выходе из котла-утилизатора $h_2 = 6130$ кДж/м³, расчетный расход топлива для печи $B_p = 0,036$ м³/с. Коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы котла-утилизатора и печи, $\beta = 0,9$. Коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду $\xi = 0,15$, коэффициент утилизации ВЭР $\sigma = 0,75$. КПД замещаемой котельной установки $\eta_3 = 0,88$.

Решение. Выход используемых тепловых ВЭР рассчитывается по формулам (7.5) и (7.7):

$$Q_{\text{ВЭР}} = B_p (h_1 - h_2) \beta (1 - \xi) \sigma = 0,036 (15\,000 - 6130) \cdot 0,9 (1 - 0,15) \cdot 0,75 = 183,2 \text{ кВт}.$$

Экономия топлива при использовании теплоты ВЭР рассчитывается по формуле (7.10):

$$\Delta B = 0,0342 Q_{\text{ВЭР}} / \eta_3 = 0,0342 \cdot 183,2 / 0,88 = 0,0071 \text{ кг/с}.$$

Горючие ВЭР. К горючим ВЭР относятся образующиеся в процессе производства основной продукции газообразные, твердые или жидкие отходы, которые обладают химической энергией и могут быть использованы в качестве топлива.

Источником горючих ВЭР являются лесная и деревообрабатывающая промышленность, химическая промышленность, сельское и коммунальное хозяйство.

К горючим ВЭР относятся:

- древесные отходы;
- отходы гидролизного производства;
- отходы целлюлозно-бумажной промышленности;

- отходы от производства аммиака, капролактама;
- сельскохозяйственные отходы (солома и ботва растений);
- городской мусор.

В настоящее время большое внимание уделяется утилизации твердых древесных отходов, лигнина, отходов сельскохозяйственного производства и т. п. В лесной и деревообрабатывающей промышленности приблизительно половина заготавливаемой древесины идет в отходы. Одной из первоочередных задач является их утилизация путем сжигания с целью получения теплоты.

Древесные отходы делятся на несколько типов:

- лесосечные отходы (недревесневшие молодые побеги, хвоя, листья);
- стволовая древесина, кора и древесная гниль.

Древесина по своему составу включает такие же компоненты, что и твердое топливо, за исключением серы.

Особенностью древесных отходов некоторых производств является повышенная влажность. Отходы лесозаготовительных предприятий имеют влажность 45–55 %. При этом влажность коры достигает 80 %. Отходы деревообрабатывающего и мебельного производства имеют влажность 10–20 %. Древесина имеет большой выход летучих веществ, что благоприятствует, несмотря на повышенную влажность, устойчивому процессу горения.

Мелкие древесные отходы различаются также по гранулометрическому составу:

- древесная пыль с частицами менее 0,5 мм;
- опилки – менее 5–6 мм, щепа после рубильных машин – менее 30 мм;
- крупная щепа с размерами частиц более 30 мм.

Гранулометрический состав определяют просеиванием через сито.

Способы сжигания древесных отходов зависят от гранулометрического состава и влажности. Древесную пыль без включения абразивных частиц сжигают факельно-вихревым способом, при наличии абразивных частиц – в циклонных топках. Более крупные отходы эффективно сжигать в слоевых топках с «кипящим» или плотным слоем.

Первичная переработка местных древесных отходов может включать изготовление брикетов, что позволяет сжигать их в топках с плотным слоем.

Процесс сжигания древесных отходов (рис. 7.2) включает предварительную сортировку и сушку. Сжигание проводится в топке с «кипящим» слоем с частичной рециркуляцией дымовых газов. Это обеспечивает полное сгорание топлива, выносимого с отходящими газами. Сжигание производится с целью получения теплоты и передачи ее энергоносителю – пару или горячей воде, которые могут непосредственно направляться потребителю. Теплота может также преобразовываться в электричество с помощью паровой или газовой турбины.

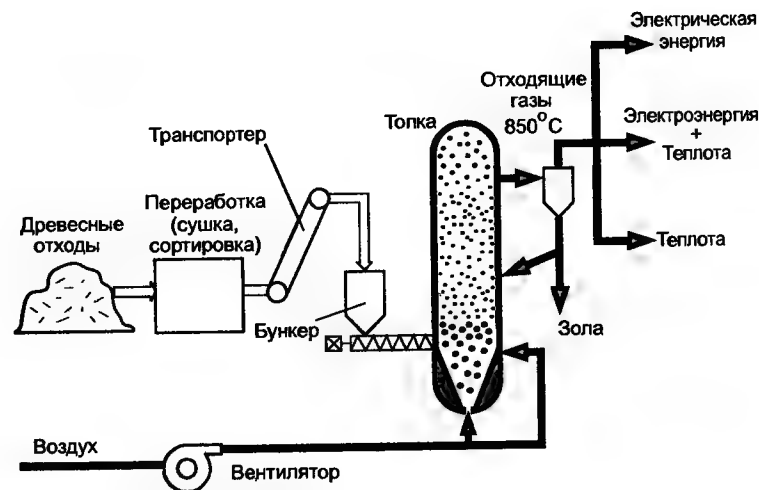


Рис. 7.2. Схема использования древесных отходов для получения энергии

В настоящее время в Германии, Финляндии, Швеции и других странах на основе отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности, включающих остатки лесосечных отходов, стружки и отходов фрезерно-отрезных станков, изготавливаются гранулы (пиллеты). Древесные гранулы по сравнению с исходным сырьем, которое используется само-

стоятельно в виде топлива, имеют более низкую влажность ($W \approx 8\%$), высокую плотность (ρ принимает значения от 1100 до 1300 кг/м³) и теплоту сгорания ($Q_H^P \approx 19$ МДж/кг). Их длина равна 20–50, а диаметр – 4–10 мм.

Древесные гранулы в отличие от обычной древесины становятся конкурентоспособными наряду с другими видами твердого, жидкого и газообразного топлива. Их выгодно перевозить на большие расстояния, они занимают меньше места при хранении.

Технология изготовления гранул включает крупное дробление, сушку, мелкое дробление, прессование, охлаждение, сортировку, расфасовку. При изготовлении гранул никакие добавки не используются, так как в качестве связующих выступают естественные смолы, лигнин. Для сушки в качестве источника энергии используются некондиционные отходы после сортировки гранул. Для производства гранул требуется 3 % энергии от их потенциала. Данный вид топлива может сжигаться в котлах с механизированной или ручной подачей.

Таким образом, горючие ВЭР позволяют замещать первичное топливо, которое Беларусь закупает за рубежом, и тем самым увеличивают производство энергии за счет собственных энергоресурсов.

Тепловые ВЭР. К тепловым ВЭР относится физическая теплота отходящих газов котельных установок и промышленных печей, основной или промежуточной продукции, других отходов основного производства, а также теплота рабочих тел, пара и горячей воды, отработавших в технологических и энергетических агрегатах.

Для утилизации тепловых ВЭР используют *теплообменники, котлы-утилизаторы* или *тепловые агенты*. Рекуперация теплоты отработанных технологических потоков в теплообменниках может проходить через разделяющую их поверхность или при непосредственном контакте.

Тепловые ВЭР могут поступать в виде концентрированных потоков теплоты или в виде теплоты, рассеиваемой в окружающую среду. В промышленности концентрированные потоки составляют 41 %, а рассеиваемая теплота – 59 %. Концентрированные потоки включают теплоту уходя-

щих дымовых газов печей и котлов, сточных вод технологических установок и жилищно-коммунального сектора.

Тепловые ВЭР делятся на высокотемпературные (с температурой носителя выше 500 °С), среднетемпературные (при температурах от 150 до 500 °С) и низкотемпературные (при температурах ниже 150 °С).

При использовании установок, систем, аппаратов небольшой мощности потоки теплоты, отводимые от них, составляют небольшую величину и рассредоточены в пространстве, что затрудняет их утилизацию из-за низкой рентабельности.

Рассмотрим некоторые способы и устройства для утилизации тепловых ВЭР. Применение энергетических отходов для внутреннего использования рассматривалось ранее при изучении работы парового котла, где за счет рекуперации теплоты отходящих газов проводится подогрев питательной воды в экономайзере и окислителя воздуха в воздухоподогревателе. Имеются и другие возможности внутреннего использования энергетических отходов.

Теплота уходящих дымовых газов используется как для внутреннего, так и для внешнего потребления.

При внутреннем потреблении энергоотходов в печах и котлах осуществляется подогрев воздуха, подаваемого на горение. В котлах дополнительно может подогреваться питательная вода.

При внешнем использовании нагревают теплоноситель или сырье. Нагрев рабочей среды проводится в регенеративных, рекуперативных или смесительных (контактных) аппаратах.

Регенеративные аппараты по принципу действия являются периодическими. Через неподвижные насадки потоки дымовых газов и нагреваемой среды проходят попеременно путем переключения направления их течения (рис. 7.3). Реализуемый уровень температур в регенераторах с керамическими насадками составляет 1700 °С. Недостатком этих аппаратов является снижение за цикл температуры нагреваемой среды на 10–15 %. Они пригодны для маловязких и чистых сред.

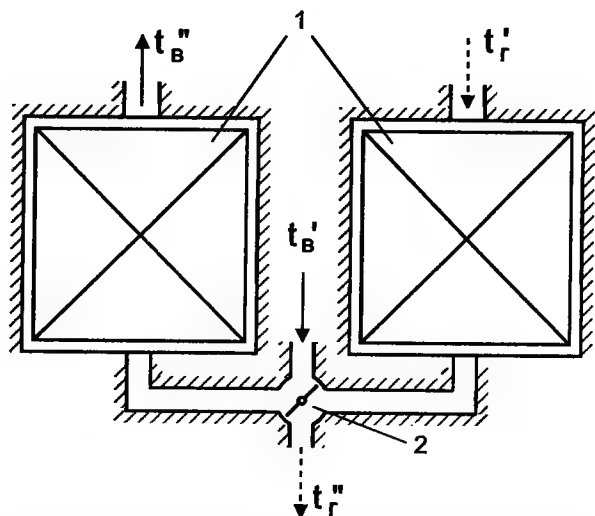


Рис. 7.3. Схема регенератора с неподвижной насадкой:
1 – насадка; 2 – переключатель; сплошная стрелка – нагреваемая среда; пунктирная стрелка – греющая среда

Рекуперативные подогреватели выполняются из металла, поэтому уровень рабочих температур снижается до 700–800 °С по сравнению с регенераторами. Преимущество их заключается в постоянстве параметров рабочих сред, что обеспечивает стабильность технологического процесса. Рассмотрим простейший рекуператор (рис. 7.4, а). Передача теплоты от дымовых газов к нагреваемой среде осуществляется через разделяющую поверхность, которая может иметь различное конструктивное исполнение. В нашем случае это кольцевой канал, который связан с раздающим и сборным коллекторами.

При утилизации низкотемпературных дымовых газов целесообразно использовать *контактный теплообменник* с активной оросительной насадкой для повышения интенсивности теплообмена (рис. 7.4, б). С помощью данного устройства можно получать горячую воду 50–70 °С, что позволяет проводить сжигание топлива с учетом высшей теплоты сгорания и тем самым добиваться дополни-

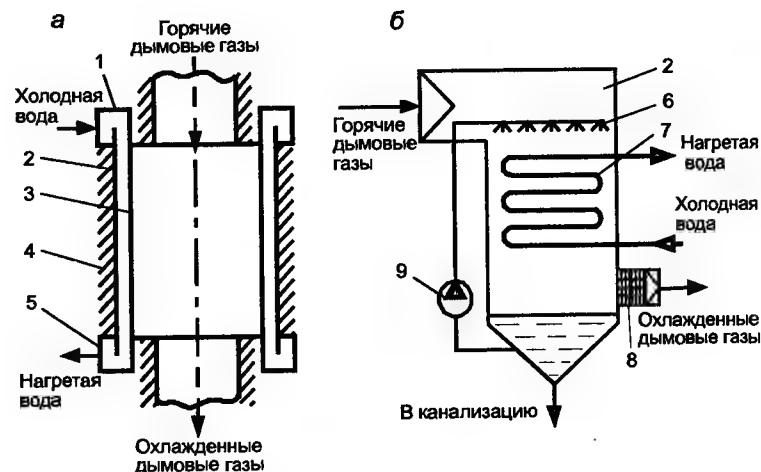


Рис. 7.4. Радиационный рекуператор кольцевой (а) и контактный теплообменник с активной насадкой (б):

1 – раздающий коллектор; 2 – корпус; 3 – поверхность нагрева; 4 – тепловая изоляция; 5 – сборный коллектор; 6 – система орошения; 7 – активная насадка; 8 – сепарационное устройство; 9 – насос системы орошения

тельного энергосберегающего эффекта. Достоинством аппарата являются небольшие габариты и масса, достигаемые за счет интенсификации теплообмена при орошении пучка труб промежуточным теплоносителем в жидкой фазе, подогретым непосредственным соприкосновением с дымовыми газами. Это также дает косвенный энергосберегающий эффект за счет экономии металла. Кроме того, в данном аппарате происходит очистка дымовых газов. Энергетический эффект от утилизации теплоты дополняется экологическим эффектом уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду.

При внешнем использовании теплоты отходящих газов промышленных печей применяются паровые или водогрейные котлы-утилизаторы. В отличие от энергетических котлов их поверхности нагрева располагаются не в топке, а по тракту отходящих газов. Конструкция *котла-утилизатора* включает: экономайзер, барабан-сепаратор, испаритель и

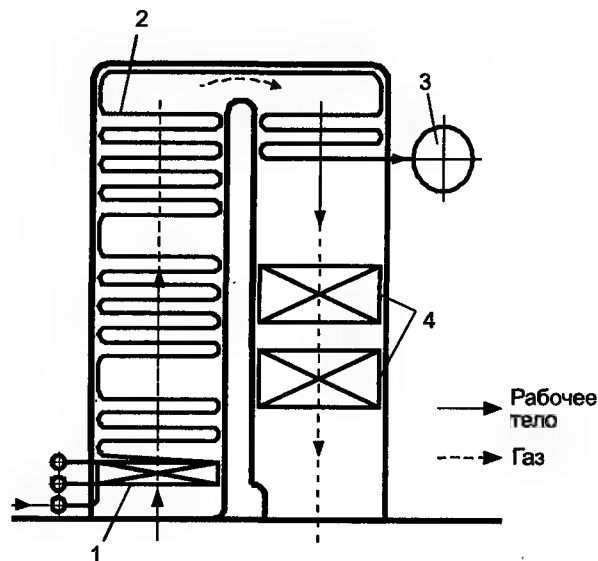


Рис. 7.5. Схема котла-утилизатора:

1 – пароперегреватель; 2 – испарительные пакеты; 3 – барабан-сепаратор; 4 – экономайзер

пароперегреватель. Циркуляция воды через испаритель осуществляется с помощью насоса или естественной конвекцией (рис. 7.5). Принцип работы котлов-утилизаторов идентичен котлам котельных установок.

После тепловой обработки в печи материалы или детали могут иметь высокую температуру и располагать значительным запасом физической теплоты. Если сыпучие материалы пропустить через контактный аппарат или заготовки конечных размеров через промежуточную камеру, то теплоту можно передать газообразному или жидкому теплоносителю и использовать для других процессов с пониженной температурой. Примером может служить схема утилизации теплоты при производстве цементного клинкера (рис. 7.6). Холодный воздух с помощью вентилятора 5 проходит через охладитель клинкера 4, нагревается до 275–525 °С и подается на горение в обжиговую печь 3. За счет этого достигается

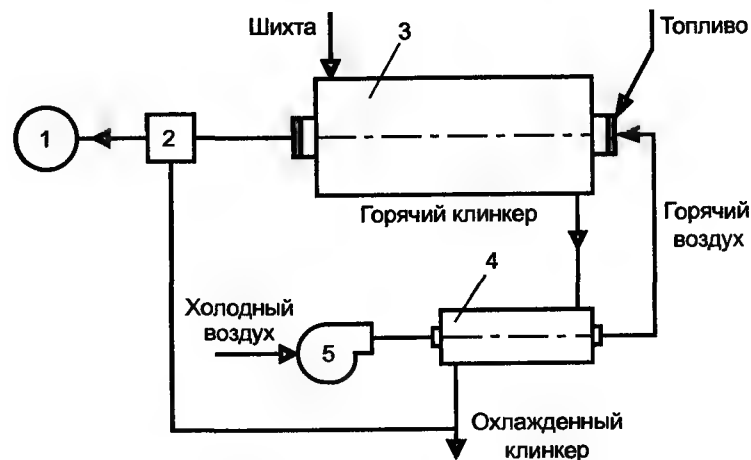


Рис. 7.6. Схема установки для утилизации физической теплоты при производстве клинкера:

1 – тяговое устройство; 2 – газоочистка; 3 – обжиговая печь; 4 – охладитель клинкера; 5 – вентилятор

ся экономия топлива. Уходящие дымовые газы проходят очистку в аппарате 2 и с помощью тягового устройства 1 удаляются в атмосферу. Пылевидные частицы клинкера смешиваются с готовой продукцией.

В химическом производстве готовой продукции могут появляться агрессивные жидкости, например при производстве серной, фосфорной и других кислот. Дальнейшее использование теплоты от этих сред с помощью промежуточного теплоносителя позволяет утилизировать сбросную теплоту. В нижнем ярусе теплообменника-утилизатора (рис. 7.7) располагается трубчатая поверхность теплообмена с агрессивной жидкостью, от которой теплота передается теплоносителю с низкой температурой кипения. Такими теплоносителями могут быть холодильные агенты или вода. Промежуточный теплоноситель испаряется, и пар, омывая верхнюю поверхность теплообмена, конденсируется, отдавая теплоту конечному теплоносителю – воде. При такой схеме утилизации теплоты исключается попадание вредных веществ в конечный теплоноситель.

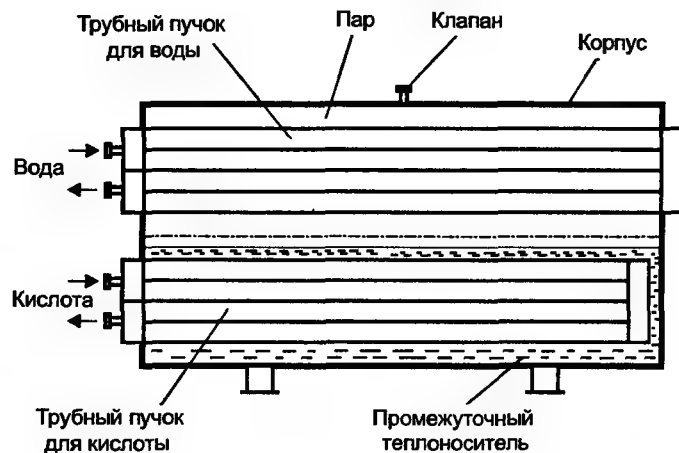


Рис. 7.7. Теплообменник с промежуточным теплоносителем

С целью соблюдения санитарно-гигиенических норм на всех производствах функционируют системы приточно-вытяжной вентиляции, что приводит к дополнительным потерям энергии. Потери можно уменьшить, регенерируя теплоту удаляемого воздуха (рис. 7.8). В отличие от конструкции ранее рассмотренного высокотемпературного регенератора с неподвижной насадкой в данном аппарате используются или подвижная насадка (рис. 7.8, б), или тепловые трубы (рис. 7.8, в), или тепловые трубы (рис. 7.8, д).

В первом случае теплый удаляемый воздух, омывая вращающуюся насадку, отдает ей теплоту, а холодный отбирает теплоту, нагревается и поступает в помещение, что позволяет снизить потребление энергии калорифером.

Во втором случае тепловые трубы также размещаются во входном устройстве воздухопроводов. При этом в нижней части располагаются испарительные участки тепловых труб, а в верхней – участки конденсации.

Прототипом тепловой трубы является термосифон, представляющий собой вертикальный или наклонный цилиндр с рабочей жидкостью, которая сосредоточена в

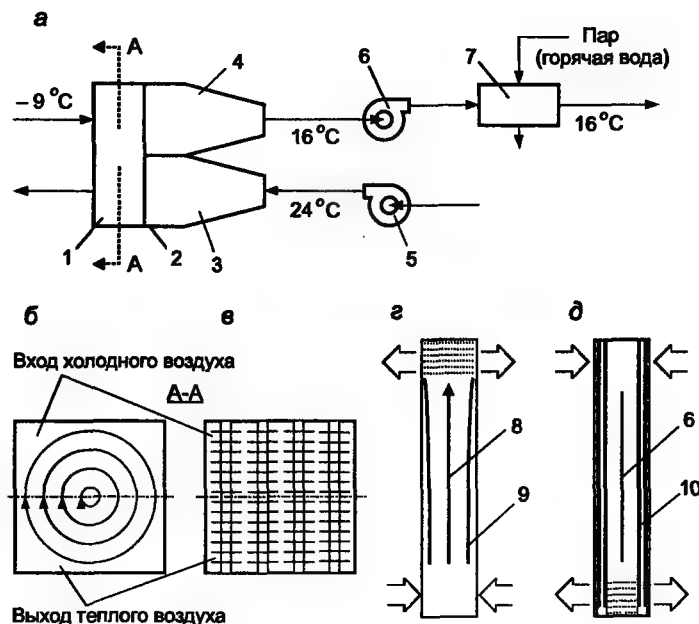


Рис. 7.8. Схема утилизатора теплоты вытяжного воздуха (а) с регенеративной вращающейся насадкой (б) и тепловыми трубами (в) и схемы термосифона (г) и тепловой трубы (д):

1 – вращающаяся теплоаккумулирующая насадка; 2 – корпус; 3 – вытяжной воздухопровод; 4 – приточный воздухопровод; 5 – вытяжной вентилятор; 6 – приточный вентилятор; 7 – подогреватель воздуха; 8 – пар; 9 – пленка конденсата; 10 – капилляр

нижней части (рис. 7.8, г). Термосифон работоспособен в гравитационном поле. С его помощью можно передавать теплоту от одной среды к другой. В нашем случае от нагретого вытяжного воздуха теплота подводится к нижней части термосифона, где жидкость в процессе кипения испаряется, а пар, аккумулировав теплоту, поднимается вверх. Верхняя часть термосифона омывается приточным воздухом. Пар конденсируется, выделяя теплоту, которая передается холодному воздуху. Конденсат под действием силы тяжести стекает по стенке цилиндра в виде жидкой пленки. Плотность передаваемых потоков с помощью термосифона в несколько раз выше, чем через обычную стен-

ку рекуперативного теплообменника, из-за роста эффективной теплопроводности. Недостатком термосифона является то, что его ориентация должна быть близкой к вертикали и тепловой поток имеет одно направление – снизу вверх. Этот недостаток преодолен в тепловых трубах.

Тепловые трубы дополнительно содержат смачиваемые капилляры (рис. 7.8, *д*), в которых жидкость независимо от их ориентации перемещается за счет силы поверхностного натяжения. В остальном принцип работы тепловых труб подобен принципу работы термосифона, с той лишь разницей, что они могут иметь произвольную ориентацию. Поэтому сфера использования тепловых труб весьма широка как в земных условиях, так и в невесомости. Потоки теплоты, передаваемые тепловой трубой, выше на два-три порядка по сравнению с таким теплопроводным материалом, как медь. Практическая реализация больших потоков зависит от интенсивности внешнего теплообмена в средах с подводом и отводом теплоты. В нашем случае для интенсификации теплообмена со стороны воздуха тепловые трубы снабжены оребрением.

Кроме рассмотренных способов утилизации теплоты вентиляционных выбросов широко используются и рекуперативные теплообменники. В утилизационных теплообменниках степень регенерации теплоты вытяжного воздуха может достигать 70 %, что позволяет почти вдвое сократить расходы топлива на отопление.

При использовании теплообменников необходимо уделять особое внимание состоянию их поверхности. Образование отложений приводит к росту термического сопротивления, и эффективность утилизации тепловых ВЭР ухудшается. Кроме того, из-за отложений возрастают потери давления, а следовательно, и мощность на прокачку рабочего вещества. Этот недостаток преодолевается периодической чисткой поверхностей теплообмена.

ВЭР избыточного давления. ВЭР избыточного давления могут быть использованы для производства механической работы, теплоты или холода. В первом случае для преобразования используется турбина, сопряженная на одном валу с электрическим генератором. Во втором случае энергия из-

быточного давления может быть также преобразована в теплоту или холод в соответствии с эффектом Ранка.

Для примера рассмотрим использование ВЭР избыточного давления в системах распределения природного газа. В магистральных трубопроводах газ транспортируется под давлением 4,5–6,5 МПа. Затем на газораспределительных станциях (ГРС) давление снижается до 1,2 МПа. У конечных потребителей на газорегулирующих пунктах (ГРП) давление уменьшается до более низких значений, соответствующих технологическим требованиям. В обоих случаях снижение давления происходит без совершения работы, т. е. имеют место непроизводительные потери энергии. Эту энергию можно использовать для производства электричества, установив газотурбинную расширительную станцию (ГТРС), а ГРП использовать как резервную систему. Схема ГТРС, которая может быть использована в системах газоснабжения ТЭЦ, дана на рис. 7.9. Для предотвращения выпадения конденсата на лопатках турбины газ перед подачей в турбину подогревается.

Комбинирование энергетических и технологических процессов. В настоящее время – это одно из направлений повышения эффективности использования топлива как источника энергии и сырья. Например, энерготехнологи-

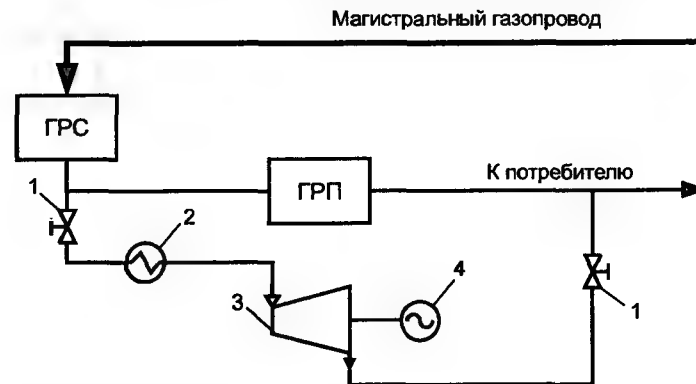


Рис. 7.9. Утилизация энергии избыточного давления в системе распределения природного газа:

1 – клапан; 2 – подогреватель; 3 – турбина; 4 – электрогенератор

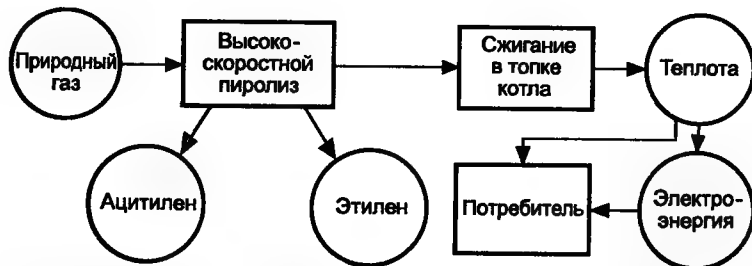


Рис. 7.10. Схема энерготехнологических процессов при использовании природного газа

ческое комбинирование при использовании природного газа позволяет подвергать его глубокой переработке с получением ацетилена и этилена, теплоты и электрической энергии (рис. 7.10).

Другим примером энерготехнологии является повышение эффективности использования топлива в промышленной энергетике. Экономии энергии можно достичь путем термохимической регенерации теплоты отходящих газов промышленных печей при конверсии природного газа в среде своих продуктов сгорания (рис. 7.11).

В печи 2 после сжигания топлива часть теплоты передается технологическому продукту, который выходит с температурой $t_{\text{тп}}$. Другая часть теплоты удаляется с отходящими газами при температуре $t_{\text{ог}}$ и представляет собой энергетические отходы. Часть теплоты отходящих газов Q_1 расходуется в воздухоподогревателе 3 на предварительный подогрев атмосферного воздуха, подаваемого на горение. За счет этого достигается уменьшение потребления топлива. При этом температура уходящих газов $t_{\text{уг}}$, поступающих в атмосферу, понижается ($t_{\text{уг}} < t_{\text{ог}}$). Вторая часть отработанной теплоты Q_2 расходуется в реакторе на эндотермическое разложение природного газа (метана). Затем Q_2 выделяется в топке при сжигании конвертированного газа, что также ведет к уменьшению потребления топлива. Общая экономия энергии составит $(Q_1 + Q_2)/29,33$ т у.т.

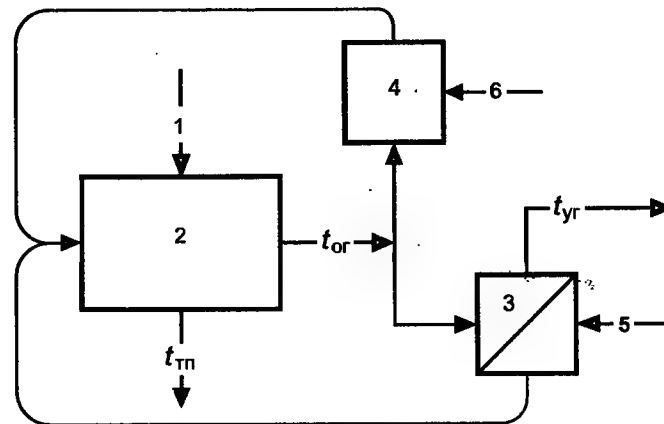


Рис. 7.11. Химическая генерация теплоты при конверсии топлива в среде продуктов сгорания:

1 - технологическое сырье; 2 - топка промышленной печи; 3 - воздухоподогреватель; 4 - реактор для конверсии топлива отходящими газами; 5 - холодный воздух; 6 - топливо - природный газ

Рассмотренные технические методы утилизации горючих, тепловых и избыточного давления вторичных энергетических ресурсов не исчерпывают все случаи, встречающиеся на практике. Однако они отражают общие подходы и принципы использования этих ресурсов.

Во-первых, прежде чем использовать ВЭР, необходимо знать, какими их видами мы располагаем.

Во-вторых, необходимо обладать информацией об объемах выхода ВЭР и о возможной экономии топлива за счет их использования.

В-третьих, реальные технические утилизационные устройства могут отличаться лишь конструкцией и некоторыми особенностями их работы.

7.2. ТРАНСФОРМАТОРЫ ТЕПЛА

Трансформаторами тепла называются устройства для переноса энергии в форме теплоты от источников с низкой температурой к «потребителям» с более высокой температурой.

К трансформаторам тепла относятся криогенные установки, холодильные машины, кондиционеры и тепловые насосы. В настоящее время наибольшее распространение получили холодильные машины (холодильники) и кондиционеры. По данным Международного института холода, на охлаждение, необходимое для хранения продуктов, и кондиционирование воздуха используется более 10 % мирового потребления электроэнергии. В некоторых странах в летнее время эта цифра превышает 25 % из-за пикового использования кондиционеров в полдень.

Трансформаторы тепла, применяемые в качестве тепловых насосов, позволяют повысить потенциал теплоты низкотемпературных ВЭР и окружающей среды – атмосферного воздуха, грунта и водоемов. Таким образом, они относятся к энергосберегающим технологиям. Кроме того, криогенная техника используется для решения проблемы сверхпроводимости, которая также открывает поле деятельности для энергосбережения. Сжижение топлив, подобных природному газу, улучшает энергетические характеристики их транспортировки и использования. Наконец, низкие температуры, возможно, скоро помогут сделать реальным в промышленных масштабах термоядерный синтез водорода для производства энергии, что решит энергетические проблемы на длительный период времени.

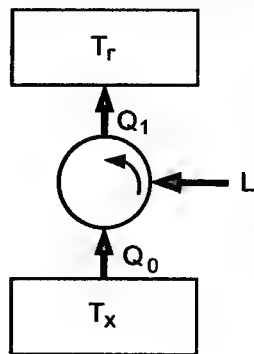


Рис. 7.12. Схема трансформатора тепла

Наиболее распространенный компрессионный трансформатор тепла работает по обратному циклу тепловой машины, в котором механическая работа преобразуется в теплоту. Иногда такую тепловую машину называют холодильником. Основными элементами трансформатора тепла являются (рис. 7.12) теплоприемник с температурой T_x , устройство, преобразующее механическую работу в теплоту, и теплоотдатчик с температурой T_r . Теплоприемник связан с источником теплоты, а теплоотдатчик – с потребителем.

К рабочему веществу с помощью теплоприемника подводится теплота Q_0 . Затем рабочее вещество поступает в устройство, где дополнительно принимает теплоту за счет преобразования механической работы L :

$$L = \frac{Q_0}{\varepsilon} = \frac{Q_1}{\varphi},$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{T_x}{T_r - T_x}, \quad \varphi = \frac{T_r}{T_r - T_x}.$$

Суммарное количество теплоты $Q_1 = Q_0 + L$ поступает в теплоотдатчик и далее передается потребителю или окружающей среде.

Таким образом, за счет компенсирующего процесса преобразования механической работы в теплоту, в соответствии со вторым законом термодинамики, осуществляется перенос теплоты от менее нагретого тела к более нагретому. При этом теплота Q_1 , принятая потребителем, будет в φ раз больше по сравнению с затраченной работой L . Параметр φ называется *коэффициентом преобразования* и является основной характеристикой теплового насоса. Эффективность холодильников оценивается по значению *холодильного коэффициента* ε . Формулы для расчета φ и ε соответствуют идеальному циклу Карно холодильной машины, которая работает без трения.

В настоящее время трансформаторы тепла в Беларуси применяются в значительно меньшей степени, чем холодильники. Здесь имеется значительный резерв для экономии энергии. Например, по данным промышленности США, максимальное количество сбросной теплоты, поступающей в окружающую среду, имеет температуру до 100°C (рис. 7.13). Эта теплота может быть утилизирована с помощью тепловых насосов и повторно использована для теплоснабжения.

Компрессионные трансформаторы тепла. Рассмотрим схемы компрессионных трансформаторов тепла (рис. 7.14), основными элементами которых являются ис-

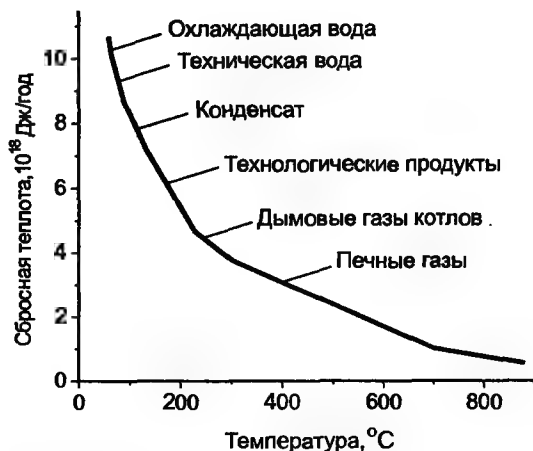


Рис. 7.13. Изменение количества сбросной теплоты от температуры

паритель (теплоприемник), компрессор (преобразователь механической работы в теплоту), конденсатор (теплоотдачик) и регулируемый дроссель для организации циклической работы трансформатора. Рабочее вещество циркулирует в контуре и перемещается с помощью компрессора. От источника теплота Q_0 передается рабочему веществу в испарителе, где оно переходит из жидкого агрегатного состояния в газообразное и направляется в компрессор. Компрессор работает от привода. Первичная энергия N_z , потребляемая приводом компрессора, преобразуется в теплоту при совершении работы сжатия над рабочим веществом, что является причиной повышения его давления и температуры, а следовательно, и потенциала теплоты, подведенной к теплоприемнику. Далее рабочее вещество поступает в конденсатор, от которого теплота Q_1 подается потребителю или окружающей среде. В дросселе давление понижается до первоначального, и цикл замыкается.

Теплоотдающие и теплопринимающие среды могут находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии. В связи с этим испарители и конденсаторы отличаются конструкцией (рис. 7.14). Допускаются различные ком-

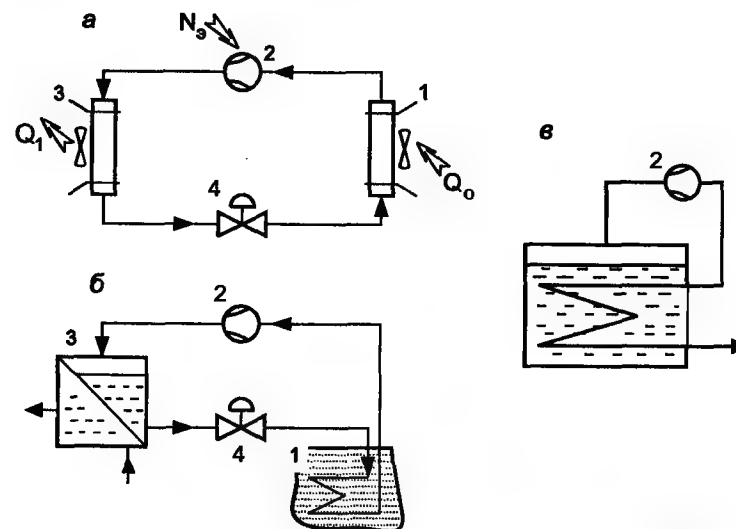


Рис. 7.14. Схемы компрессионных трансформаторов тепла с воздушными аппаратами (а), с конденсатором жидкостного охлаждения и испарителем в грунте (б) и термокомпрессора (в):

1 — испаритель; 2 — компрессор; 3 — конденсатор; 4 — дроссель

бинации теплообменных аппаратов. Рассмотренные трансформаторы тепла используются в системах тепло- и хладоснабжения.

В некоторых случаях рабочим веществом трансформатора тепла могут служить технологическое сырье и готовый продукт. Тогда схему можно упростить, совместив в одном теплообменном аппарате испаритель и конденсатор. Такое устройство называется *термокомпрессором*. Оно применяется в процессах выпаривания, разделения смесей.

Коэффициент преобразования и холодильный коэффициент реального трансформатора тепла соответственно определяются отношениями

$$\varphi = \frac{Q_1}{N_z}; \quad \varepsilon = \frac{Q_0}{N_z}, \quad (7.12)$$

где N_z — мощность, потребляемая приводом компрессора.

Минимальное значение коэффициента преобразования, при котором действительно достигается экономия энергии, зависит от типа привода компрессора и источника энергии. Например, для теплового насоса с электроприводом минимальное значение ϕ должно превышать 2,3 при снабжении электроэнергией от ТЭС и 2,8 – от ТЭЦ.

Рассмотрим некоторые направления применения тепловых насосов. В промышленности имеется большое количество сточных вод с температурой 30–40 °С, для повышения потенциала энергии которых могут использоваться тепловые насосы (рис. 7.15). Такие тепловые насосы выпускаются за рубежом. Источником теплоты в них могут быть сточные воды с температурой 18–54 °С. Температура получаемой горячей воды достигает 60–104 °С. Тепловая мощность данных насосов составляет 30–5000 кВт с коэффициентом преобразования 3–6. Конкретные схемы подключения теплового насоса к технологическим линиям зависят от специфики производства, где имеется низкопотенциальная сбросная теплота.

Во многих производствах используются процессы сушки сырья, промежуточной и готовой продукции, а в строи-

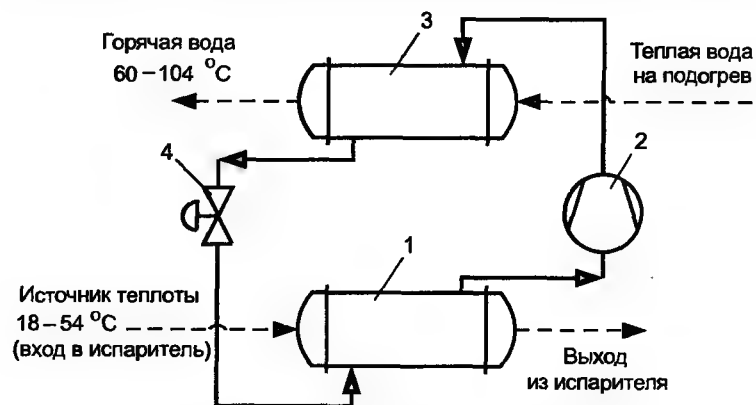


Рис. 7.15. Тепловой насос для утилизации низкопотенциальной теплоты промышленных сточных вод:

1 – испаритель; 2 – компрессор; 3 – конденсатор; 4 – дроссель

тельстве – элементов конструкций. Данные процессы осуществляются с помощью сушильного агента, чаще всего воздуха. Осушаемый материал помещается в камеру, где организуется циркуляция подогретого сушильного агента, который поглощает влагу (рис. 7.16). Данная схе-

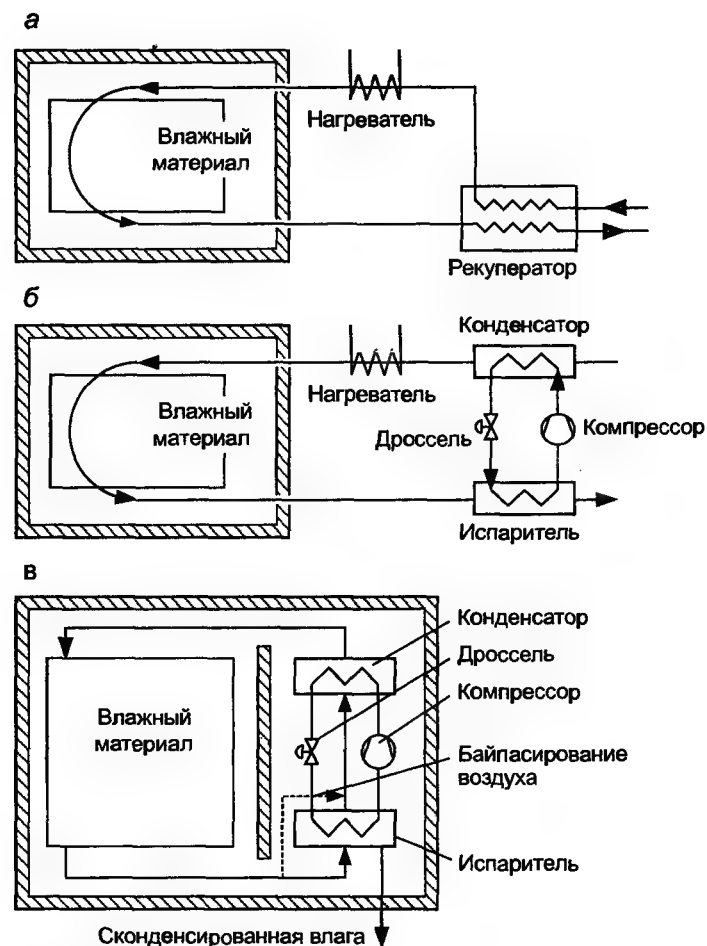


Рис. 7.16. Схемы процесса сушки:

а – традиционная; б – разомкнутая с тепловым насосом; в – замкнутая с тепловым насосом

ма является разомкнутой. Сушильный агент постоянно или периодически обновляется путем удаления в атмосферу, и тем самым влажность материала постепенно снижается до требуемой величины. Обычно сушильный агент поступает в атмосферу с температурой 30–70 °С.

Энергопотребление для проведения сушки можно понизить, применив тепловой насос. Он устанавливается вместо рекуператора. Сушильный агент, проходя через конденсатор, нагревается и направляется в технологическую камеру. При этом для обеспечения надежности получения заданных параметров агента имеется резервный нагреватель, но с меньшей мощностью, чем в прототипе. После удаления из камеры сушильный агент поступает в испаритель теплового насоса, где охлаждается и передает теплоту рабочему веществу трансформатора тепла. Рабочий цикл замыкается.

Процесс сушки можно усовершенствовать и сделать более энергоэкономичным (рис. 7.16, в). Здесь реализована замкнутая схема циркуляции сушильного агента. При этом тепловой насос работает в таком режиме, что поверхность испарителя имеет температуру ниже точки росы.

Когда отработанный сушильный агент, насыщенный влагой, проходит через испаритель, она конденсируется и удаляется из камеры. Для уменьшения энергетических затрат организуется байпасирование нагретого сушильного агента, когда он направляется в конденсатор, минуя испаритель. В таком случае тепловая производительность теплового насоса может быть уменьшена без ущерба для качества сушки материала.

Рассмотренная схема процесса сушки имеет ограничения по минимальной влажности сушильного агента, которая составляет около 30 %. При более низкой влажности испаритель работает неэффективно, так как интенсивность конденсации влаги на поверхности резко снижается. Поэтому для процессов сушки с более жесткими требованиями к минимальной влажности осушаемого материала предпочтительной является разомкнутая схема (рис. 7.16, б). При этом можно подобрать такой тепловой насос, что резервный нагреватель не потребует. Наи-

большая эффективность от внедрения тепловых насосов в сушильные процессы будет при замещении электрического нагрева сушильного агента.

Рассмотренные схемы с тепловыми насосами применяются при сушке древесины, зерна, продуктов в пищевой промышленности, строительстве и других сферах.

В случаях, когда одновременно имеются потребители как теплоты, так и холода, энергетическая эффективность трансформаторов тепла возрастает. Это объясняется тем, что обобщенный коэффициент преобразования энергии

$$K = \frac{Q_0 + Q_1}{N_p} = \varphi + \epsilon. \quad (7.13)$$

Схема трансформаторов тепла, которые служат для производства ледяной воды с температурой 0,5–1,0 °С и горячей воды 60 °С, дана на рис. 7.17. Данная схема может быть использована в химическом производстве и мо-

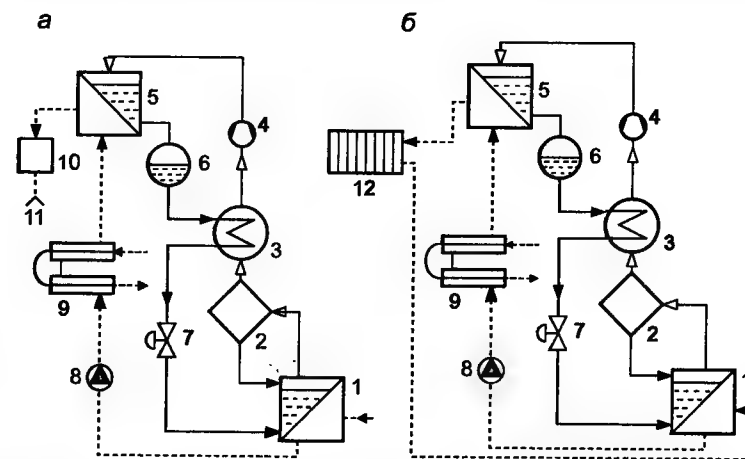


Рис. 7.17. Схема комбинированных трансформаторов тепла для разомкнутой системы холодо- и теплоснабжения (а) и замкнутой системы теплоснабжения (б):

1 – испаритель; 2 – отделитель жидкости; 3 – регенератор; 4 – компрессор; 5 – конденсатор; 6 – ресивер; 7 – терморегулирующий вентиль; 8 – насос; 9 – охладитель технологического продукта; 10 – аккумулятор теплоты; 11 – система горячего водоснабжения; 12 – система отопления. Сплошная линия – контур холодоагента, штриховая – технологический контур холодо- и теплоносителя

лочной промышленности, которые являются значительными потребителями холода. Параметры холода могут быть получены в соответствии с запросами потребителей. Теплота может применяться в низкотемпературных системах отопления, для горячего водоснабжения и других нужд.

Рассмотренные примеры использования компрессионных трансформаторов тепла не исчерпывают их широких возможностей в области эффективного использования энергии.

Сорбционные трансформаторы тепла. В промышленности, где наряду с низкопотенциальными тепловыми источниками имеются и высокотемпературные ВЭР, применяются сорбционные трансформаторы тепла. Их можно разделить на два типа: абсорбционные и адсорбционные.

В абсорбционных трансформаторах тепла используют жидкие сорбенты, поглощающие газообразные вещества всей массой, а в адсорбционных — твердые, поглощающие вещества поверхностным слоем.

Наиболее распространены абсорбционные трансформаторы тепла (рис. 7.18). Если сравнить этот трансформатор с компрессионным (см. рис. 7.14), можно увидеть, что вместо компрессора он содержит такие элементы, как абсорбер, насос, генератор и дополнительный дроссель, которые «выполняют» функции компрессора.

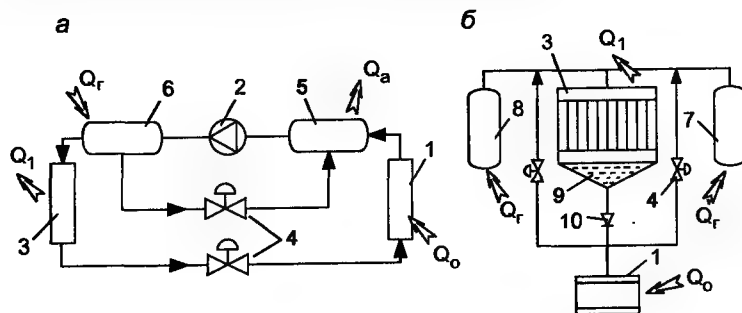


Рис. 7.18. Схемы абсорбционного (а) и адсорбционного (б) трансформаторов тепла:

1 — испаритель; 2 — насос; 3 — конденсатор; 4 — дроссели; 5 — абсорбер; 6 — генератор; 7, 8 — адсорбер-генератор; 9 — ресивер; 10 — обратный клапан

В абсорбционных трансформаторах в качестве рабочего вещества используются двухкомпонентные (бинарные) смеси с различной температурой кипения. Рабочий агент имеет более низкую температуру кипения, а поглотитель (абсорбент) более высокую. Температура кипения смеси в зависимости от концентрации раствора изменяется от минимальной до максимальной. Наиболее распространенными являются водоаммиачные и бромисто-литиевые смеси.

Рассмотрим принцип работы абсорбционного трансформатора тепла (рис. 7.18, а). Теплота от низкопотенциального источника передается рабочему веществу в испарителе 1, которое испаряется и затем поступает в абсорбер 5, где абсорбируется поглотителем. Происходит насыщение раствора с выделением теплоты Q_a . Затем раствор с помощью насоса 2 перекачивается в генератор 6, к которому подводится теплота Q_r . В генераторе происходит десорбция с поглощением теплоты Q_r . Затем обедненный поглотитель через дроссель возвращается в абсорбер, а рабочий агент поступает в конденсатор 3. При конденсации рабочего агента выделяется теплота, которая отводится потребителю. Конденсат направляется в испаритель, и рабочий цикл завершается. Общее количество полезной теплоты, получаемой с помощью абсорбционного трансформатора тепла, равно $Q_1 + Q_a$.

Эффективность абсорбционного теплового насоса определяется отношением Q_1/Q_r , а холодильной машины — Q_0/Q_r . В абсорбционных трансформаторах тепла затраты энергии на перемещение насосом рабочего агента в жидкой фазе малы. Основные затраты энергии связаны с нагревом генератора.

В настоящее время имеются также проекты по использованию адсорбционных трансформаторов тепла с твердым сорбентом (рис. 7.18, б).

В адсорбционных трансформаторах тепла адсорбер и генератор совмещены в одном устройстве, что обуславливает их периодическую работу. После подвода теплоты от низкопотенциального источника рабочий агент в испарителе 1, минуя конденсатор, направляется в генератор-ад-

сорбер 7 или 8 и поглощается твердотельным адсорбентом. После его насыщения к адсорбенту подводится теплота Q_r и начинается процесс десорбции. Рабочий агент с высокой температурой направляется в конденсатор. Из конденсатора теплота отбирается потребителю, а конденсат накапливается в ресивере 9 и направляется в испаритель. Цикл замыкается. Для бесперебойного снабжения потребителей холодом и теплотой постоянных параметров используются конструкции адсорбционных трансформаторов тепла с симметричным расположением адсорберов-генераторов.

В отличие от компрессионных трансформаторов тепла, в которых работа превращается в теплоту, в сорбционных трансформаторах необходим источник теплоты высокого потенциала для работы генератора. В результате этого происходит перенос теплоты от менее нагретого объекта к более нагретому. Таким источником наряду с утилизируемой низкопотенциальной сбросной теплотой промышленных предприятий могут быть сбросная теплота с высоким потенциалом (температурой) или горючие ВЭР. В этом случае сорбционные трансформаторы тепла выгодно использовать, так как они утилизируют низко- и высокопотенциальную сбросную теплоту. Если источник сбросной высокопотенциальной теплоты отсутствует, вместо него можно использовать электрический нагрев или специально сжигать топливо для получения теплоты, необходимой для работы генератора. В качестве топлива наиболее удобным является природный или сжиженный газ.

Адсорбционные трансформаторы тепла нашли применение для сжижения аммиака, в содовом производстве совместно с карбонизационной колонной для охлаждения воды и в комплексных системах тепловодоохладоснабжения химических предприятий.

В настоящее время наиболее распространенными являются компрессионные трансформаторы тепла, так как для их работы используется электропривод. Применяются и другие типы приводов компрессоров, например двигатели внутреннего сгорания. В некоторых случаях сорбционные

трансформаторы тепла могут оказаться более предпочтительными, например при наличии высокотемпературных тепловых отходов или при редуцировании избыточного давления энергоносителей, участвующих в технологическом процессе. Имеются также и другие, менее распространенные устройства трансформации тепла (вихревые, струйные, термоэлектрические и прочие), которые нами не рассматривались, но потенциально могут быть использованы для получения холода и повышения потенциала теплоты.

7.3. ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Общие положения. Электричество является наиболее удобным и широко распространенным видом энергии. В Беларуси его получают путем преобразования первичной энергии топлива, а также закупают за рубежом. При генерировании электричества приблизительно лишь треть первичной энергии преобразуется в электроэнергию. Поэтому проблема ее эффективного использования является актуальной. Имеются законодательные акты, регулирующие потребление электроэнергии нормированием и использованием гибких тарифов. В Беларуси за превышение потребления электроэнергии сверх нормы, использование ее на отопление взимается оплата по более высоким расценкам.

Электричество применяется в быту, в технологических процессах и вспомогательных системах различных производств. В процессе транспортировки, распределения и потребления электроэнергии имеют место ее непроизводительные потери, которые складываются из неизбежных и дополнительных.

Дополнительные потери электроэнергии обусловлены:

- несовершенством системы электроснабжения;
- передачей реактивной мощности;
- ухудшением качества электроэнергии;
- технологическими потерями;
- недостатками в организации производства.

Рассмотрим пути повышения энергоэффективности при использовании электричества наиболее распространенными конечными потребителями: системами искусственного освещения, электроприводами, электротермическими устройствами, бытовыми устройствами.

Искусственное освещение. Освещение используется во всех сферах деятельности человека. В промышленности на освещение в среднем расходуется до 10 % потребляемой электроэнергии. В сфере услуг и развлечений этот показатель может достигать 25 %. Основными элементами системы освещения, определяющими ее эффективность, являются осветительные приборы (светильники), включающие источники света и арматуру. Осветительные приборы характеризуются потребляемой мощностью, световым потоком и освещенностью поверхности.

Световой поток Φ равен энергии, излучаемой источником и переносимой сквозь поверхность за единицу времени. Световой поток измеряется в люменах (лм). Например, лампа накаливания мощностью 100 Вт излучает 1750 лм.

Освещенностью поверхности E называют отношение приходящегося на нее светового потока к ее площади S :

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (7.14)$$

Освещенность измеряется в люксах (лк).

Эффективность источников света (светильников) характеризуется световой отдачей H , которая определяется как отношение освещенности или светового потока к потребляемой мощности. В различных литературных источниках данные по световой отдаче представлены в лм/Вт или лк/Вт. На практике удобнее выражать светотдачу в лк/Вт, так как освещенность непосредственно измеряется с помощью люксметра.

В настоящее время выпускаются различные источники света. Приведенные данные (табл. 7.1) показывают, что эффективность ламп накаливания в 2 и более раз ниже, чем остальных. Возможности экономии энергии определяются

выбором источников света. Обычные лампы накаливания, работающие более 4000 ч в год, лучше заменить на более эффективные. Например, люминесцентные лампы потребляют электроэнергии в 6 раз меньше. Тем не менее даже у наилучших источников света КПД составляет 30 %.

Таблица 7.1

Характеристики источников света

Тип источника света	Маркировка	Светотдача, лм/Вт		Коэффициент запаса, $K_{\text{эл}}$	Срок службы, ч
		Диапазон	Обычная		
1	2	3	4	5	6
Лампы накаливания	ЛН	8–18	12	1,1	1000
Галогенные лампы накаливания	КГ	16–24	18	1,1	2000
Ртутно-вольфрамовые лампы	РВЛ	20–28	22	1,2	6000
Ртутные лампы высокого давления	ДРЛ	36–54	50	1,3	12000
Натриевые лампы высокого давления	ДНаТ	90–120	100	1,3	12000
Металлогалогенные лампы высокого давления	ДРИ	70–90	80	1,3	12000
Люминесцентные лампы низкого давления	ЛБ	60–80	70	1,3	10000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	ЛБЦТ	70–95	90	1,25	10000

Окончание табл. 7.1

1	2	3	4	5	6
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	КЛ	60–70	67	1,25	9000
Натриевые лампы низкого давления	ДНаО	120–180	–	1,3	12000

Замена существующих источников света с суммарным годовым потреблением электроэнергии W_r (кВт·ч/год) более эффективными источниками позволяет получить экономию энергии

$$\Delta W = W_r(1 - K_{ис}K_{эл}), \quad (7.15)$$

где $K_{ис} = H/H_N$ – коэффициент эффективности замены источника света; $K_{эл}$ – коэффициент запаса, учитывающий снижение светового потока лампы в течение срока службы; H – светотдача существующего источника света; H_N – светотдача предлагаемого для установки источника света.

Кроме замены источников света имеются и другие способы повышения экономии энергии при использовании осветительных установок. Экономия электроэнергии зависит от сочетания и размещения источников света и светильников. Использование одной более мощной лампы накаливания или люминесцентной позволяет уменьшить потребление энергии без снижения освещенности. Например, четыре люминесцентные лампы по 20 Вт дают две трети светового потока, который можно получить от двух ламп по 40 Вт.

Использование комбинированного общего и местного освещения, искусственного и естественного освещения позволяет уменьшить потребление электроэнергии. В соответствии с санитарно-гигиеническими ограничениями

нельзя использовать только местное освещение рабочих мест. Оно должно обязательно дополняться общим с пониженной освещенностью. Общая освещенность считается достаточной, если на 1 м^2 площади пола приходится от 15 до 20 Вт мощности ламп накаливания. При использовании дополнительного местного освещения общую освещенность уменьшают. За счет этого потребление энергии снижается в 1,5–2 раза.

Запыленные стекла окон поглощают до 30 % светового потока. Регулярное мытье окон позволяет снизить продолжительность горения ламп при двухсменной работе предприятия на 15 % в зимнее время и на 90 % – в летнее.

Эффективным является пакетный способ размещения светильников вместо линейного. При линейном способе осветительная арматура располагается в виде отдельных линий, а при пакетном – над рабочим местом располагают несколько светильников. Практика показала, что один и тот же уровень освещенности рабочего места при пакетном способе поддерживается в 2 раза меньшим числом светильников.

При отсутствии необходимости освещение следует отключать, что уменьшает затраты электроэнергии. Кроме ручного управления освещением для этих целей применяются автоматизированные системы на основе программного управления или реагирующие на изменение уровня освещенности. В протяженных помещениях целесообразно использовать зональные выключатели для рационального управления несколькими источниками света из разных мест. Системы регулирования и управления освещением позволяют сократить потребление электроэнергии на 5–15 %.

Замена светильников – наиболее эффективное комплексное мероприятие, включающее замену источников света, изменение расположения мест освещения и в целом повышающее КПД использования электроэнергии на освещение. Например, переход на светильники с эффективными отражателями позволяет снизить потребление энергии до 50 %, т. е. отказаться от половины используемых

ламп. Применение компактных люминесцентных ламп (КЛ) в местах общего пользования по сравнению с лампами накаливания приводит к уменьшению потребления энергии в несколько раз. Однако при этом надо обращать внимание на правильную установку КЛ, так как в отличие от ламп накаливания они обладают направленным световым потоком.

Большое значение имеют условия эксплуатации и плановые ремонты, предусматривающие своевременные осмотры, чистки, замены ламп и комплектующих. Замена обычных балластных токоограничивающих сопротивлений на электронные высокочастотные позволяет снизить потребление электроэнергии в люминесцентных лампах до 25–30 %. Регулярная чистка ламп и светильников и замена ламп после нормативного срока службы увеличивают световую отдачу на 10–15 %.

Электропривод. Для преобразования электрической энергии в механическую используется электропривод. В промышленности электропривод является основным потребителем электроэнергии, на долю которого приходится до 60 % ее потребления. Особенностью электропривода является то, что цена электроэнергии, расходуемой ежегодно средним двигателем, в пять раз превышает цену самого двигателя. Это является мощным стимулом для энергосбережения.

Парк электроприводов в подавляющем большинстве составляют нерегулируемые трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. В настоящее время лишь 5–10 % электроприводов являются управляемыми и используются в установках со сложными технологическими процессами. В промышленности до 60 % энергопотребления приходится на привод центробежных механизмов: насосов, компрессоров, вентиляторов.

Рассмотрим основные подходы к повышению эффективности электроприводов. Мощность двигателя должна соответствовать нагрузке. Если двигатель перегружен, он быстро выходит из строя, если недогружен – снижаются его КПД и коэффициент мощности ($\cos \varphi$). При загрузке менее 45 % электропривод следует заменить, при загрузке более 70 % за-

мена нецелесообразна, в остальных случаях для замены требуется серьезный экономический анализ.

Использование более качественных конструкционных материалов в статорах и роторах уменьшит постоянную составляющую активных потерь на 2–5 %. Энергетически эффективные двигатели дают наибольший выигрыш при 70 %-й нагрузке. Их стоимость во многих случаях не превышает цену обыкновенных моторов.

В случае переменной нагрузки или частых простоев электродвигателей следует применять системы управления. Рассмотрим принципы управления на примере приводов центробежных механизмов. Управление может осуществляться дросселированием, включением-отключением и пускорегулирующими устройствами. Данные системы управления имеют разную эффективность (рис. 7.19). При номинальной подаче рабочего вещества центробежными механизмами, когда регулирование отсутствует, потребляемая электроприводом мощность имеет максимальное значение независимо от метода регулирования.

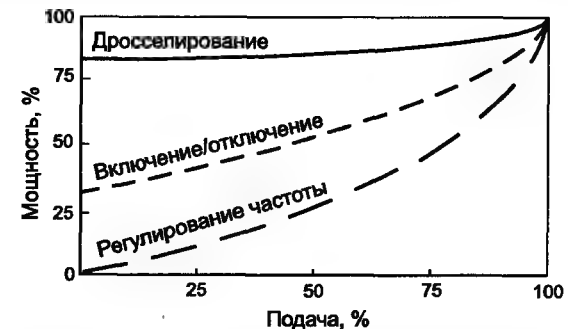


Рис. 7.19. Эффективность способов регулирования производительности центробежных механизмов

С уменьшением подачи возможное снижение потребления электроэнергии относительно исходной номинальной мощности двигателя будет минимальным при управлении дросселированием и максимальным при использовании пускорегулирующих устройств.

Небольшая эффективность регулирования дросселированием объясняется тем, что изменение расхода рабочего вещества должно быть скомпенсировано потерями в системе. В этом случае даже при уменьшении расхода до нуля будет потребляться более половины номинальной мощности.

Второй способ регулирования включением-отключением не всегда применим, особенно при частом изменении нагрузки, так как по регламенту двигателя в течение суток могут запускаться и останавливаться ограниченное число раз из-за электродинамических и тепловых перегрузок, например синхронные электродвигатели типа СТД – один раз. Частое отключение механизмов снижает их ресурс работы и увеличивает вероятность выхода из строя. В настоящее время эта проблема преодолима с помощью электронных тиристорных устройств «плавного» пуска, которые минимизируют пусковой ток. В процессе пуска двигатель разгоняется от пускового устройства. При достижении частоты вращения, близкой к номинальной, двигатель переключается и работает от сети. Такие устройства применяются для пуска синхронных и асинхронных двигателей.

Наиболее эффективным способом регулирования является изменение частоты вращения, что обеспечивает согласованность работы электродвигателя и нагрузки с практически постоянным КПД при значительном снижении потребляемой мощности по сравнению с дросселированием. Частота вращения двигателя меняется в зависимости от сигнала, вырабатываемого технологическим регулятором или задаваемого программно. Для регулирования в настоящее время используются электронные преобразователи частоты с системой микропроцессорного управления. Эти системы эффективны на стадии модернизации и вытесняют ранее применявшийся регулируемый электропривод постоянного тока. Их стоимость составляет 130–150 дол. США/кВт в диапазоне наиболее распространенных мощностей 11–37 кВт. При внедрении регулируемого электропривода достигается экономия энергии: 50 % для вентиляционных сис-

тем, 25 % для насосов, 30 % для воздуходувок и вентиляторов и 40–50 % для компрессоров. В случаях, когда постоянное регулирование производительности не требуется, более рационально использовать устройства плавного пуска, так как они проще, дешевле и имеют малые габариты.

Мощность потребления энергии электродвигателями центробежных механизмов определяется формулой

$$N = \frac{\Delta P G}{\rho \eta_1 \eta_2 \eta_3}, \quad (7.16)$$

где ΔP – потери давления в сети, Па; G – массовый расход, кг/с; ρ – плотность рабочего вещества, кг/м³; η_1, η_2, η_3 – КПД соответственно двигателя, передачи и центробежного механизма (насоса, компрессора или вентилятора).

Электротермические установки. Электротермические установки (ЭТУ) служат для преобразования электрической энергии в теплоту, которая используется для обработки сырья, материалов и изделий. Они классифицируются по принципу работы на печи и установки нагрева сопротивлением, индукционного и диэлектрического нагрева, печи электродугового нагрева и установки плазменного, лучевого и лазерного нагрева.

Для примера на рис. 7.20 представлены схемы наиболее широко используемых печей и установок нагрева сопротивлением. К этому типу установок также относятся сушильные установки с электронагревом.

Электрическая мощность электропечи P равна полезному тепловому потоку, требуемому для нагрева обрабатываемого материала. Установленная мощность печи обычно выше:

$$P_{\text{уст}} = k \frac{P}{\eta_o \eta_T}, \quad (7.19)$$

где k изменяется от 1,1 до 1,6 – коэффициент запаса мощности печи, учитывающий увеличение тепловых потерь в

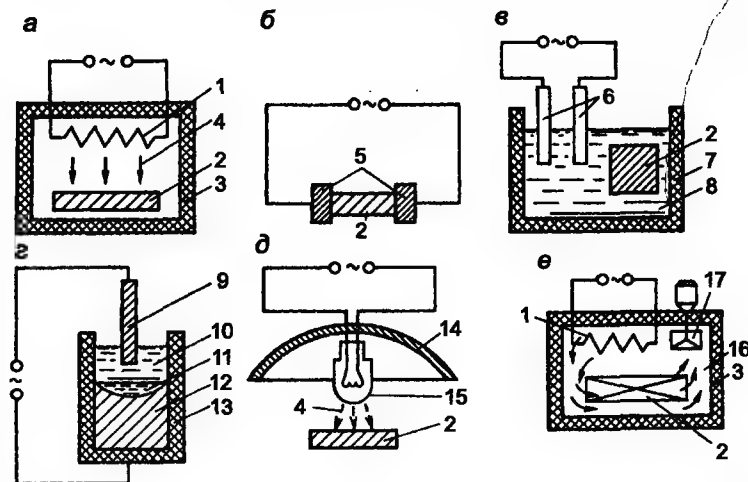


Рис. 7.20. Печи и установки нагрева сопротивлением:

а – печь среднетемпературная косвенного нагрева; *б* – установка прямого нагрева; *в* – печь с жидким теплоносителем; *г* – установка электрошлакового переплава; *д* – установка инфракрасного нагрева; *е* – печь низкотемпературная с калорифером; 1 – нагреватель; 2 – установка инфракрасного нагрева; 3 – футеровка; 4 – тепловой поток; 5 – контакты; 6 – электроды; 7 – корпус; 8 – расплав соли; 9 – переплавляемый электрод; 10 – шлак; 11 – расплавленный металл; 12 – слиток; 13 – кристаллизатор; 14 – отражатель; 15 – излучатель; 16 – газовый поток; 17 – вентилятор

процессе эксплуатации, колебание напряжения сети, старение нагревателей, необходимость форсированного нагрева; $\eta_{\text{э}}$ и $\eta_{\text{т}}$ – электрический и тепловой КПД. Коэффициент запаса зависит от типа ЭТУ и ее мощности. Самым высоким КПД обладают печи и установки нагрева сопротивлением с $\eta_{\text{э}}$, принимающим значения от 0,9 до 1,0, и $\eta_{\text{т}}$, изменяющимся от 0,7 до 0,9.

Во многих процессах ЭТУ незаменимы, например при получении чистых материалов. Они позволяют легко поддерживать необходимую температуру и использовать различные среды при нагреве материалов, включая вакуум. При этом достигим высокий уровень температур – до 3500 °С. Ко-

эффициент полезного действия ЭТУ составляет 0,5–0,85, что позволяет им конкурировать с огневыми промышленными печами. Однако ЭТУ являются энергоемкими.

На основе опыта эксплуатации ЭТУ выработаны следующие рекомендации по экономии энергии.

- ♦ Увеличение загрузки печи в 2 раза за счет рациональной укладки материала сокращает расход электроэнергии на 40 %.

- ♦ Использование печей с загрузкой менее 70 % не разрешается.

- ♦ Уменьшение массы загрузочной тары снижает расход электроэнергии. Масса тары не должна превышать 10 % массы обрабатываемого изделия.

- ♦ Температура наружной поверхности не должна превышать 65 °С, что влечет избыточные потери теплоты. Лучше, если она не превышает 30–40 °С.

- ♦ Использование современных теплоизоляционных материалов снижает расход электроэнергии на 20–25 % и сокращает время разогрева на 30 %.

- ♦ Окраска печей алюминиевой краской снижает потери теплоты и расход электроэнергии на 3–5 %.

- ♦ Улучшение герметичности печей.

- ♦ Поддержание оптимальных уровней напряжения снижает расход электроэнергии на 20–25 % и сокращает время разогрева на 30 %.

- ♦ Применение автоматического регулирования температуры, форсированного разогрева в начале процесса снижает расход электроэнергии до 25 %.

- ♦ При трехсменной работе печей общий расход электроэнергии снижается на 20–30 %.

Использование электроэнергии в быту. В быту используются разнообразные электроприборы, которые расходуют до 30 % энергии от общего электропотребления. Усредненные данные о годовом потреблении электроэнергии некоторыми бытовыми электроприборами даны в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Данные о потреблении электроэнергии бытовыми приборами

Электроприбор	Потребление, кВт·ч/год
Лампа накаливания 60 Вт	263 (из расчета 12 ч работы в сут.)
Энергосберегающая лампа 9–11 Вт	44 (из расчета 12 ч работы в сут.)
Морозильный аппарат	427
Посудомоечная машина	475
Электродуховка	440
Стиральная машина	275
Холодильник	584
Телевизор	180
Видеомагнитофон	150
Пылесос	65
Компьютер	40
Аудиоаппаратура	35

В быту, как и в промышленности, электроэнергия в большом количестве используется на освещение. Методы снижения потребления энергии в системах искусственного освещения были рассмотрены выше.

Обязательным атрибутом любой квартиры являются холодильник и пылесос. Чтобы уменьшить потребление энергии холодильником, необходимо своевременно его размораживать, следить за состоянием уплотнения на дверках, не держать долго открытым. Прежде чем открывать холодильник, необходимо подумать, что вы хотите взять. Если держать его долго открытым, теряются деньги, сопоставимые со стоимостью хранимых продуктов. Пылесос после уборки помещения надо тщательно очищать. Это будет способствовать не только уменьшению потребляемой энергии, но и продлению долговечности пылесоса, так как он будет работать без перегрузки.

Много энергии потребляется электрическими плитами, которые относятся к электротермическим установ-

кам. Эффективное использование электрической энергии здесь может быть достигнуто за счет:

- форсированного разогрева конфорок и доведения жидкости до кипения с последующим снижением мощности при варке блюд до готовности;
- использования отключенных неостывших конфорок для подогрева водопроводной воды впрок;
- использования в плитах с чугунными и стальными конфорками массивной металлической посуды с плоским недеформированным дном толщиной 5–7 мм;
- закрытия сосудов с готовящейся пищей крышками и использования скороварок;
- удаления нагара и грязи с днищ посуды;
- кипячения воды в электрочайнике, так как у него КПД выше.

Трубчатые конфорки имеют более высокий КПД по сравнению с чугунными и стальными штампованными. Наиболее экономичны плиты с ситаловым покрытием. Они экономят до 200 кВт·ч электроэнергии в год.

При покупке электроприборов следует обращать внимание на их энергопотребление. В настоящее время в продаже имеются устройства с одинаковыми свойствами, но с разным потреблением энергии. Устройства с меньшим потреблением энергии стоят несколько дороже, но первичные затраты окупаются за счет экономии энергии.

7.4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Тепловой режим здания. Здания и сооружения жилищного, культурного, административного и промышленного назначения являются крупными потребителями тепловой энергии. Только на жилой фонд зданий Беларуси приходится 39 % потребления вырабатываемой теплоты. Проведенный анализ показывает, что в фонде жилых и нежилых зданий может быть сэкономлено в год за счет энергосберегающих мероприятий около 50 % потребляемой энергии.

Во многих случаях для определения эффективности использования энергии в зданиях удобной единицей измерения является кВт·ч/(м²·год) или МДж/(м²·год). В Беларуси потребление энергии на отопление жилья составляет от 80 до 120 МДж/(м²·год). В Финляндии, где климат более суровый, этот показатель равен 45–50 МДж/(м²·год). Теплопотери через ограждающие конструкции зданий у нас составляют до 80 % всех общих потерь теплоты, в развитых странах Западной Европы – 38–44 %, т. е. в 2 раза меньше. Потери энергии через ограждающие конструкции распределяются следующим образом:

- стены – 42–49 %;
- окна – 32–35 %;
- подвальные и чердачные перекрытия – 11–18 %;
- входные двери – 5–15 %.

В многоэтажных зданиях потери теплоты через подвальные и чердачные перекрытия будут минимальными.

На тепловой режим здания существенное влияние оказывает наружный климат, который определяют солнечная инсоляция, температура и влажность воздуха, ветер. При проектировании ориентация зданий выбирается с учетом розы ветров и потоков энергии, поступающих от Солнца. С увеличением скорости ветра интенсифицируется теплообмен со стороны наружного воздуха, растут инфильтрация и теплопотери, а при ориентации фасада на юг за счет прогрева стеновых ограждений они уменьшаются. При увлажнении ограждающих поверхностей с последующим испарением влаги теплопотери дополнительно увеличиваются. Значение температуры наружного воздуха является исходным параметром при проектировании как ограждающих конструкций, так и систем отопления. С уменьшением минимальной расчетной температуры воздуха самого холодного месяца в году возрастает мощность отопительной системы. Средняя расчетная минимальная температура наружного воздуха самого холодного месяца в году для Минска равна –25 °С. Средняя расчетная скорость ветра этого периода равна 5 м/с. Все рассмотренные параметры должны учитываться при проектировании зданий и систем отопления.

Тепловой режим здания определяется не только наружным климатом, но и ограждающими конструкциями, внутренней средой и реакцией человека. Например, расчетная температура помещения в зависимости от назначения здания может быть в пределах 16–26 °С. Комплексный подход к энергосбережению в зданиях требует взаимосвязанного рассмотрения всех составляющих.

Приближенный метод расчета потерь теплоты. Потери теплоты в зданиях обусловлены теплопередачей Q_T и инфильтрацией (воздухообменом) Q_H (рис. 7.21). Тепловой поток, характеризующий потери, равен

$$Q = Q_T + Q_H. \quad (7.18)$$

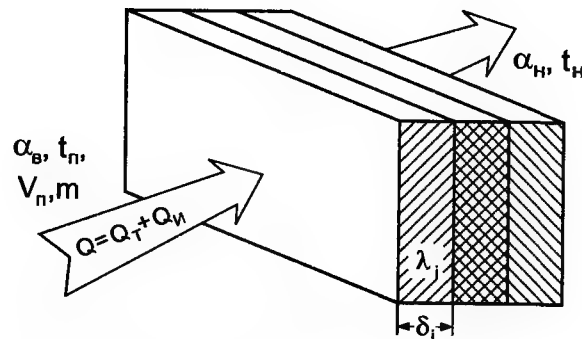


Рис. 7.21. Схема процесса переноса теплоты через многослойное ограждение

Уравнение теплопередачи через плоскую стенку имеет следующий вид:

$$Q_T = k \Delta t F = \left(\frac{1}{\alpha_v} + R_i + \frac{1}{\alpha_n} \right)^{-1} (t_v - t_n) F, \quad (7.19)$$

где k – коэффициент теплопередачи; Δt – температурный напор; F – поверхность теплообмена; α_v – коэффициент теплоотдачи воздуха со стороны помещения; α_n – коэффи-

циент теплоотдачи со стороны наружного воздуха;

$R_i = \sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i$ – термическое сопротивление многослойного однородного ограждения; δ_i – толщина i -го слоя материала стенки; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя материала стенки; t_v и t_n – соответственно температуры воздуха внутри и снаружи помещения.

В соответствии со строительными нормами и правилами для приближенных расчетов можно принять значения коэффициентов теплоотдачи α_v и α_n , которые соответственно равны 8,7 и 23 Вт/(м²·°C).

Тепловой поток за счет воздухообмена через неплотности в конструкции здания определяется объемным расходом воздуха V_v , который может быть выражен через коэффициент инфильтрации m . Коэффициент инфильтрации – это кратность воздухообмена помещения объемом V_n за 1 ч. Тогда

$$Q_n = \rho_v V_v c_{pv} (t_v - t_n) = \frac{m V_n \rho_v c_{pv}}{3600} (t_v - t_n) = \frac{m V_n}{3} (t_v - t_n), \quad (7.20)$$

где ρ_v – плотность воздуха, кг/м³; c_{pv} – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); $\rho_v c_{pv} \approx 1200$ Дж/(м³·К).

Следует заметить, что температура воздуха в помещении не отражает состояние микроклимата в нем, на который дополнительно влияет излучение от ограждающих поверхностей с радиационной температурой t_p . В соответствии с нормативами России и Беларуси при малой подвижности воздуха температура помещения $t_n = (t_v + t_p)/2$.

Потери теплоты через стены, полы и потолки различаются, и для каждой поверхности их необходимо рассчитывать отдельно. В общем случае суммарные потери теплоты в помещении

$$Q = \left(\sum_{i=1}^n k_i F_i + \frac{m V_n}{3} \right) (t_n - t_n). \quad (7.21)$$

Основными направлениями повышения эффективности использования энергии в существующих зданиях являются: утепление и внедрение систем регулирования отпуска теплоты.

Первое направление относится к пассивным методам энергосбережения, а второе – к активным. Вначале следует утеплять здания и лишь затем устанавливать системы регулирования отпуска теплоты.

Утепление зданий. Утеплять необходимо здания, которые находятся в эксплуатации и построены по старым строительным нормам. Вновь строящиеся здания должны удовлетворять СНБ 201.01.93 «Строительная теплотехника», что значительно повышает эффективность использования энергии. Однако и эти нормы отстают от требований к сопротивлению теплопередаче, принятых в Западной Европе (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Нормативное сопротивление теплопередаче через стены (R , м²·К/Вт)

Год	Страна		
	Дания	Украина	Беларусь
1972	1,25	0,8	0,8
1977	3,00	0,8	0,8
1985	3,10	1,3	–
1994	4,20	2,2	2,5

Следует отметить, что приведенные в табл. 7.3 данные не претерпели существенных изменений и к настоящему времени.

Исследования, проведенные в США, показывают, что за счет теплоизоляции зданий могут быть существенно снижены тепловые потери:

- через крышу и чердачное помещение на 80 %;
- через стены на 60 %;
- за счет уплотнения оконных рам на 70 %;
- за счет двойного остекления на 60 %;
- через пол на 75 %.

Для уменьшения потерь через ограждающие конструкции применяются теплоизоляционные материалы с коэффициентом теплопроводности меньше $0,2 \text{ Вт/(м·К)}$.

В настоящее время выпускается широкий спектр изоляционных материалов, применяемых в строительстве: минеральная вата, утеплители на основе стекловолокна и стеклотканей, полистирол, пенопласт, керамзитовый гравий и другие.

Древесина также относится к теплоизоляционным материалам. Например, поперек волокон она имеет коэффициент теплопроводности, равный $0,14\text{--}0,16 \text{ Вт/(м·К)}$, а вдоль — $0,35\text{--}0,41 \text{ Вт/(м·К)}$. Древесноволокнистые плиты имеют коэффициент теплопроводности, равный $0,093 \text{ Вт/(м·К)}$.

В современном строительстве стеновые конструкции для облегчения делают многослойными. Утеплитель, как правило, располагают между слоями из бетона или кирпичной кладки. При утеплении существующих зданий утеплитель может крепиться на наружной или внутренней стене. Предпочтительней изоляцию проводить снаружи (рис. 7.22), так как в противном случае сокращается полезная площадь помещений, возникает необходимость переноса электрооборудования, имеется вероятность выпадения конденсата и образования плесени, требуется выселение жильцов на время ремонта. Внутреннюю теплоизоляцию стен обычно проводят для зданий, являющихся памятниками архитектуры. Разработаны и внедрены различные технологии теплоизоляции существующих зданий. Стеновые конструкции утепляют закрепляемыми на стенах плитными материалами, поверх которых наносится штукатурка или другие защитные влагостойкие материалы. Одним из наиболее распространенных утеплителей является минеральная вата. Утепление стен повышает комфортность помеще-

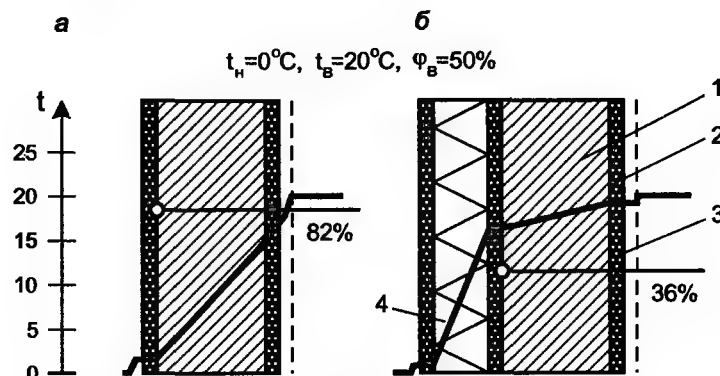


Рис. 7.22. Ограждение, выполненное по старой (а) и новой (б) технологиям:

1 — несущая стеновая конструкция; 2 — фактурный слой; 3 — пристенный тепловой пограничный слой; 4 — теплоизоляционный материал

ния. Температура внутренней поверхности стены увеличивается с $13\text{--}14$ до $18\text{--}19^\circ\text{C}$, что ведет к уменьшению излучения. При этом относительная влажность в стеновой конструкции уменьшается с 82 до 36 %, снижая риск конденсации и разрушения.

Для теплоизоляции перекрытий применяют как плитные, так и насыпные материалы. Для утепления крыш весьма удобными являются рулонные материалы, укладываемые между стропилами. При утеплении крыш и перекрытий дополнительно используются парозащитные пленки, которые препятствуют выпадению конденсата. Эффективность изоляции крыш и чердачных перекрытий выше у малоэтажных зданий, чем у многоэтажных. Для одно- или двухэтажного коттеджа потери уменьшаются на 20 %, а для девятиэтажного дома — на 3,5 %.

Наибольшие потери теплоты сосредоточены в мостиках холода. Различают геометрически обусловленные мостики холода и обусловленные конструкцией и материалами (рис. 7.23). В первом случае потери теплоты возрастают за счет увеличения наружных поверхностей теплообмена в углах зданий и при наличии выступов. Во

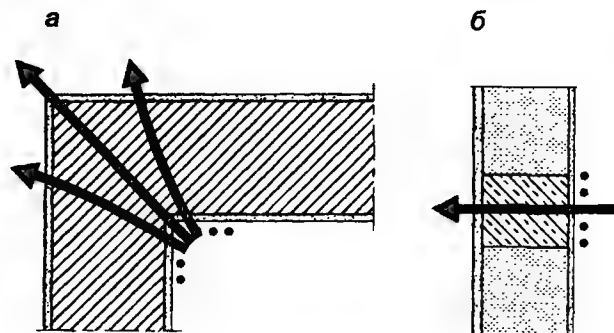


Рис. 7.23. Геометрически обусловленный мостик холода в угловой части строения (а) и мостик холода, обусловленный использованием железобетонной балки с высокой теплопроводностью в кирпичной кладке (б). Стрелками указаны направления потоков теряемой теплоты

втором – за счет отличий теплотехнических свойств материалов стен и опор перекрытий, перемычек. Например, кирпичная кладка и железобетон имеют коэффициенты теплопроводности 0,7 и 1,5 Вт/(м·К). Специальные приемы теплоизоляции мостиков холода позволяют снизить теплотери приблизительно в два раза.

Значительное количество теплоты теряется через окна. В домах старой постройки значение коэффициента теплопередачи окон может достигать 3,5 Вт/(м²·К). При этом потери составляют почти 50 % от теплоты, потребляемой на отопление. В настоящее время на основе деревянных, пластиковых или алюминиевых профилей внедрены современные окна с коэффициентом теплопередачи 0,8–1,5 Вт/(м²·К). Окна изготавливаются в виде стеклопакетов с 2, 3 или 4 стеклами. В некоторых конструкциях воздушное пространство между стеклами заполняется аргоном. Стеклопакеты обеспечивают высокую герметичность. При качественном уплотнении швов между стеной и оконной коробкой коэффициент инфильтрации приближается к нулю. Довольно просто можно модернизировать старые окна, добавив третий

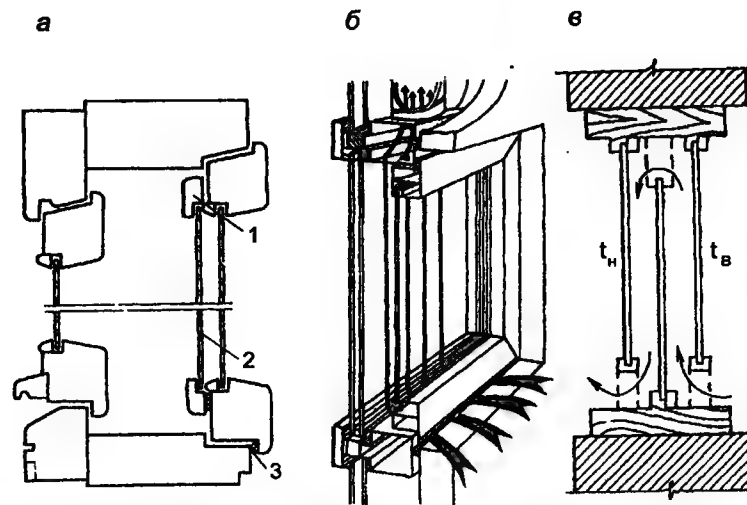


Рис. 7.24. Окно с дополнительным остеклением (а), вентилируемое окно, подсоединенное к вытяжной вентиляции (б), и сообщающееся с атмосферой окно (в):

1 – крепление для дополнительного стекла; 2 – стекло; 3 – уплотнитель

слой стекла (рис. 7.24) или закрепив слой прозрачной пластмассовой пленки.

Эффективным является также использование ленточного утеплителя по всему периметру оконных притворов. Уменьшения потерь можно достичь, применяя стекла с селективным теплоотражающим покрытием, которые пропускают инфракрасное излучение только в одну сторону.

В производственных зданиях могут применяться вентилируемые окна, когда удаляемый теплый воздух проходит через межстекольный зазор, создавая тепловую завесу (рис. 7.24). В результате этого температура поверхности внутреннего стекла увеличивается, и потери теплоты через окна снижаются.

За счет разности давлений снаружи и внутри помещения холодный воздух через щели проникает в помещение (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Потери теплоты за счет воздухообмена через неплотности
в оконных проемах

Коэффициент инфильтрации	Оценка инфильтрации	Годовые потери теплоты, ГДж
0,5	Минимальная	5,2
1,0	Допустимая	10,4
1,5	Избыточная	15,6
2,0	Ущербная	20,8

Для уменьшения потерь за счет воздухообмена необходимо провести тщательное уплотнение между оконной коробкой и стеновой конструкцией и в оконных притворах. Наиболее экономична вентиляция, проводимая не за счет постоянного естественного воздухообмена, а за счет кратковременной вентиляции с большим расходом воздуха при периодическом открытии окон. В случае приточно-вытяжной вентиляции необходимо проводить рекуперацию теплоты, установив теплообменный аппарат (см. рис. 7.8).

Пример 2. Температура воздуха в помещении $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$, а снаружи $t_{\text{н}} = -20^\circ\text{C}$. Объем помещения $V_{\text{п}} = 100 \text{ м}^3$. Потери теплоты за счет инфильтрации составляют $Q_{\text{п}} = 500 \text{ Вт}$. Найдите коэффициент инфильтрации воздуха m . Соответствует ли коэффициент инфильтрации нормативам?

Решение. Воспользуемся формулой (7.20). После ее преобразования получим

$$m = \frac{3Q_{\text{п}}}{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})V_{\text{п}}} = \frac{3 \cdot 500}{(18 + 20) \cdot 100} = 0,395.$$

Коэффициент инфильтрации воздуха соответствует нормативам.

Теплота теряется также через дверные проемы или ворота и технологические проемы цехов производственных зданий. Потери будут значительными при больших люд-

ских и грузовых потоках. Уменьшение потерь теплоты может быть достигнуто за счет сооружения входных тамбуров и организации воздушных завес.

Регулирование теплопотребления в зданиях. Для увеличения эффективности использования теплоты в системах отопления после утепления зданий необходимо выполнить второй этап программы – внедрить системы регулирования отпуска теплоты.

Вначале рассмотрим особенности существующих систем отопления. В 60–70-х гг. прошлого века в эксплуатацию сдавались однотрубные системы с последовательным соединением отопительных приборов (рис. 7.25, а).

Данные системы имеют два основных недостатка:

- получение потребителями различного количества теплоты, т. е. нахождение в неравных условиях по теплопотреблению, поскольку теплоноситель, последовательно проходя через отопительные приборы, постепенно охлаждается. Установка дополнительных байпасных линий на каждом приборе сглаживает этот отрицательный фактор, но полностью не устраняет его;

- невозможность индивидуального регулирования потребления теплоты на отопительном приборе, так как такая регулировка сразу отражается на всех последовательно соединенных приборах. Изменяя расход на одном приборе, мы тем самым изменяем его на всех.

Таким образом, однотрубные системы отопления ставят потребителей теплоты в неравные условия и исключают возможность индивидуального регулирования отопительных приборов.

Недостатков, присущих однотрубным системам отопления, лишены двухтрубные системы с параллельным соединением отопительных приборов (рис. 7.25, б). К отопительным приборам подводится теплоноситель практически с одинаковой температурой. Изменение расхода теплоносителя в одном приборе от максимального до нулевого значения не влияет на работу остальных приборов, подключаемых к системе отопления.

Модернизация системы отопления дает возможность на каждом приборе установить термостатирующий вен-

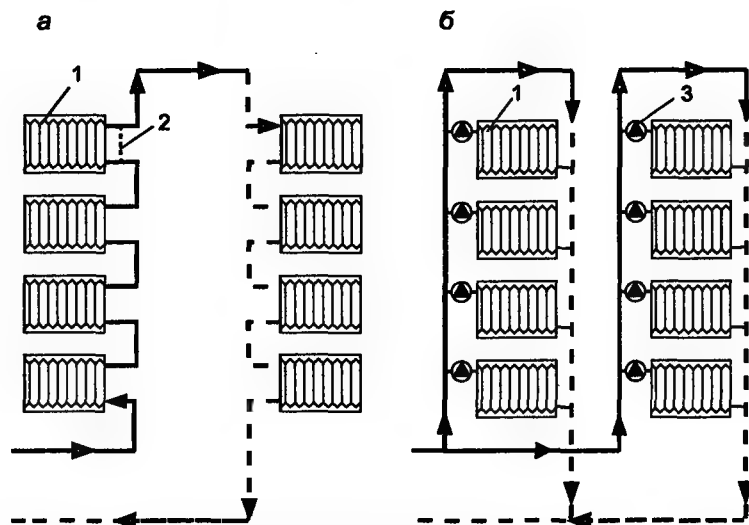


Рис. 7.25. Система подключения отопительных приборов в домах старой застройки (а) и в домах после модернизации (б): 1 – отопительный прибор; 2 – байпас; 3 – термостатирующий вентиль. Сплошная линия – подающий теплопровод; пунктирная – обратный теплопровод

тиль (радиаторный терморегулятор) для индивидуального регулирования отпуска теплоты. Установка таких терморегуляторов позволяет за отопительный сезон сэкономить приблизительно 15 % энергии. Понижение температуры в отапливаемом помещении на 1 °С уменьшает потребление энергии на 7 %.

Кроме индивидуального регулирования отпуска теплоты на отопление имеются системы регулирования подачи теплоты в отдельные здания или группы зданий. Эти системы размещаются в тепловом пункте, в котором регулируется процесс обмена теплотой между поставщиками теплоты и потребителями. При этом теплоты должно поступать столько, сколько нужно для здания в зависимости от состояния окружающей среды.

Использование автоматизированной системы регулирования отпуска теплоты позволяет уменьшить потребление энергии на 15–20 %. Однако такая экономия энергии

достижима после предварительного утепления здания. Принцип работы систем регулирования отпуска теплоты в здании рассматривается в следующем параграфе.

Дома с ограниченным энергопотреблением и энерго-независимые дома. В настоящее время во многих странах проводятся исследования и построены опытные дома с минимальным потреблением теплоты на отопление («пассивные» дома) и независимым энергоснабжением («солнечные» дома).

Концепция пассивного дома предполагает незначительное потребление энергии за счет высокой теплоизоляции здания, исключения воздухообмена через неплотности оконных и дверных проемов и использования принудительной вентиляции, которая включается автоматически лишь при превышении содержания CO₂ и других вредных веществ в воздухе помещения. Система вентиляции содержит рекуператор для утилизации отходящей теплоты. Кроме того, после забора свежий атмосферный воздух в зимнее время предварительно подогревается, проходя через трубы, уложенные в грунт. Соблюдение этих правил позволяет отапливать дом за счет поступления теплоты от работающих бытовых приборов и людей, находящихся в помещении. В таких домах также максимально используется тепловой лучистый поток Солнца за счет применения стекол с селективным покрытием и других конструктивных элементов, аккумулирующих теплоту. В этих домах потребление энергии на отопление составляет для условий Германии 15 кВт·ч/(м²·год), в отличие от домов, построенных по нормам 1980–1995 гг., где потребляется 70–110 кВт·ч/(м²·год).

В странах, располагающих значительными потоками солнечной энергии, строятся дома специальной архитектуры. Есть проекты домов, где за счет солнечной энергии и активного использования аккумулирующих систем удовлетворяются все потребности в теплоте и электричестве. В большинстве случаев такие дома строятся, чтобы осуществлялось максимальное покрытие тепловой нагрузки на теплоснабжение и горячее водоснабжение, которое составляет от 35 до 85 % от общей нагрузки.

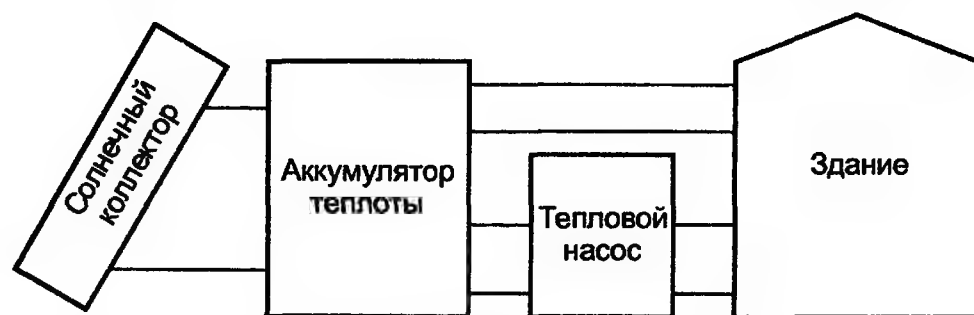


Рис. 7.26. Солнечная система теплоснабжения с аккумулятором теплоты и тепловым насосом

Системы теплоснабжения в таких домах комбинированные, включающие резервный подогрев воды другими источниками энергии, в том числе и тепловыми насосами (рис. 7.26).

Утепление существующих зданий и строительство новых с учетом повышенных норм на сопротивление теплопередаче в сочетании с внедрением систем регулирования отпуска теплоты и максимальным использованием потоков солнечной энергии является приоритетным направлением эффективно использования энергии на нужды теплоснабжения.

7.5. УЧЕТ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Учет, контроль и приборный анализ эффективности расходования энергоресурсов. Повышение эффективности производства продукции и услуг требует от руководства предприятия организации эффективного использования различных ресурсов, включая энергетические. Для этого необходимо наладить контроль и учет за расходованием всех видов энергоресурсов, внедрить автоматизированное регулирование в системах энергопотребления. Лишь после этого можно эффективно заниматься вопросами энергосбережения. Анализ эффективности использования топливно-энергетических ресурсов может быть проведен лишь на основе количественных данных их

потребления с учетом всей энергетической цепочки от генерирования энергии до ее конечного применения.

Методы измерения количества топлива зависят от его агрегатного состояния. Измеряются масса твердого топлива, объем, массовый или объемный расход жидкого и газообразного топлива. Количество древесного топлива может измеряться в плотных кубических метрах (пл. м³). Дополнительно может потребоваться измерение температуры и давления. Кроме того, для оценки качества топлива необходимо знать его влажность.

Масса топлива определяется с помощью разнообразных конструкций весов, как для взвешивания с фиксированной нагрузкой, так и для взвешивания движущегося топлива. При загрузке топлива в топочное устройство могут использоваться *дозирующие питатели*. При хранении жидкого топлива с помощью *уровнемеров* или манометров измеряется уровень в емкостях.

В технике для измерения давления в качестве контрольно-измерительной аппаратуры используются *индикаторные манометры* с подвижной стрелкой и секторной шкалой. Имеются приборы, в которых давление преобразуется в электрический сигнал. Для преобразования широко применяются *тензометры*, где при измерении давления меняется длина и диаметр проволоки и, как следствие, электрическое сопротивление, которое характеризует давление. Измерение давления проводится не только для определения свойств жидких или газообразных энергоносителей, но и затрат энергии на их перемещение по трубопроводам.

В связи со значимостью уменьшения потерь теплоты на всех стадиях ее производства и потребления измерение температуры приобретает первостепенное значение. По-прежнему находят применение *стеклянно-жидкостные термометры* (рис. 7.27, а), принцип действия которых основан на том, что рабочая жидкость с изменением температуры меняет свой объем. С ростом температуры он увеличивается, а с падением — уменьшается. Температурный диапазон этих приборов составляет от -200 до $+650$ °С.

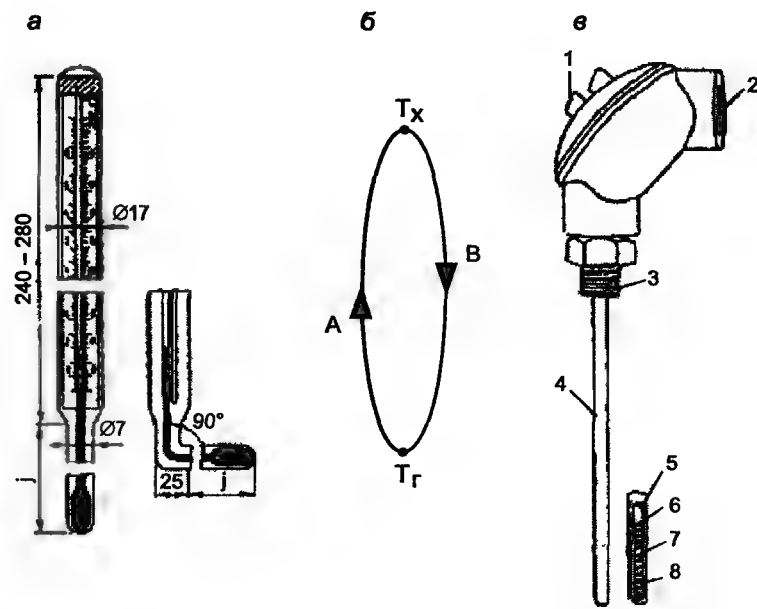


Рис. 7.27. Стеклянно-жидкостные термометры (а), схема термопреобразователя (б) и термометр сопротивления (в):

1 – герметичная крышка; 2 – резьбовое отверстие для вывода проводов; 3 – резьба для установки термометра; 4 – кожух термометра; 5 – керамическая втулка; 6 – выводные клеммы обмотки; 7 – поддерживающая спираль; 8 – обмотка термометра

В современных измерительных системах измерение температуры производится с помощью *термопреобразователей*, в основе работы которых лежит эффект Зеебека. Термопреобразователь представляет собой два проводника из различных металлов, сваренных концами (рис. 7.27, б). Термоэлектрический ток в электрической цепи из разнородных металлов течет от провода А к термоэлектрически позитивному проводу В, если точка с температурой T_x является более холодной точкой соединения. Чувствительные положительные элементы могут изготавливаться из платинородия, хромеля, меди, железа, а отрицательные – платины, алюмеля, константана. Для надежной работы термопреобразователи помещают в защитные чехлы.

Наряду с термопреобразователями широкое применение для измерения температуры находят *термометры сопротивления* (рис. 7.27, в). Они изготавливаются из металлов (медь, платина, никель), которые при изменении температуры меняют свое электрическое сопротивление. Термометры сопротивления применяются для измерения локальных и средних температур, а также для измерения температуры поверхности. В зависимости от назначения прибора обмотка сопротивления имеет различную протяженность и форму.

На основе рассмотренных устройств регистрации температуры выпускаются *электронные термометры* с индикацией ее на жидкокристаллическом дисплее. Эти приборы снабжаются термощупами (термозондами) различной конструкции, которые позволяют измерять температуру в жидких и газообразных средах и на поверхности твердых тел. В последнем случае используются наклеиваемые датчики.

Большое количество теплоты может теряться через ограждающие поверхности котлов, печей, теплопроводов, зданий и других теплоиспользующих устройств. Кроме того, во многих устройствах, механизмах и агрегатах в процессе функционирования происходит преобразование механической работы, электрической энергии в теплоту, что необходимо учитывать при определении их энергоэффективности. В связи с этим важно осуществлять контроль температуры поверхностей ограждающих конструкций и устройств, что позволяет определить тепловые потери.

Для измерения температур поверхностей удобными в использовании являются *инфракрасные пирометры* и *тепловизоры*. В этих приборах лучистый поток от измеряемого объекта проходит через оптическую систему и «фокусируется» на термоэлементе, где происходит преобразование первичного сигнала в электрический. С помощью инфракрасных пирометров измеряют локальные или усредненные по ограниченной площади температуры. Диапазон измерения температур может составлять от -50 до $+800$ °С. Более высокие температуры можно измерить с помощью оптических пирометров. В настоящее время в качестве регистрирующего устройства используется жид-

кокристаллический дисплей, на котором отображается значение измеренной температуры.

Пирометры незаменимы, если:

- доступ к объекту затруднен;
- объект может быть поврежден при соприкосновении с датчиком;
- необходимо измерить среднюю температуру большой поверхности.

Тепловизоры оснащаются широкоугольной оптикой и позволяют регистрировать и наблюдать картину локального распределения температуры сразу по всей поверхности объекта большой протяженности. Инфракрасная термография является очень эффективной и широко используется в различных технических приложениях: энергетике, холодильной технике, строительстве, машиностроении и других областях. Данный метод, например, позволяет дистанционно выявлять сильно разогретые электрические и механические компоненты устройств. Этот фактор или свидетельствует о недостаточной изоляции и связан с излишними потерями теплоты, или предшествует отказам, выявляя скрытые дефекты конструкции.

Для учета и контроля жидких или газообразных энергоносителей, холодной и горячей воды необходимо измерять их расход. Особенно важно наладить контроль потребляемой теплоты, которая, в отличие от электроэнергии, стала учитываться сравнительно недавно. В настоящее время существует несколько принципов учета теплоты.

Первый метод определения расхода теплоты основан на уравнении теплового баланса:

$$Q = G c_p (t_T - t_X), \quad (7.22)$$

где Q – количество потребляемой теплоты, Дж; $G = V\rho$ – массовый расход теплоносителя, кг/с; c_p – теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·°C); t_T, t_X – температуры теплоносителя соответственно на входе и выходе потребителя, °C; V – объемный расход теплоносителя, м³/с; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³.

В этом методе измеряются расход и температуры теплоносителя.

Второй метод учета теплоты применяется при индивидуальном расчете за теплоту в системах отопления. Он основан на регистрации количества испарившейся жидкости за отопительный сезон, которое связано с использованной теплотой. Кроме того, для измерения используются также электронные регистраторы распределения теплоты на отопление. В этом случае измеряется температура отопительного прибора. Относительно реперной температуры 20 °C автоматически рассчитывается количество потребляемой теплоты. При установке двух электронных приборов дополнительно регистрируется температура в помещении, и точность измерений возрастает.

В Беларуси в настоящее время в бытовом секторе налаживается индивидуальный учет расхода горячей и холодной воды. Для этих целей используются *тахометрические счетчики* (объемные расходомеры), которые работают по принципу турбины. Они надежны, просты в установке и обслуживании. Их недостатком является чувствительность к загрязнению потока механическими примесями, для избежания чего требуется дополнительная установка фильтра. Малые скорости потока и наличие фильтра приводят к дополнительным потерям давления. Данные расходомеры имеют порог чувствительности, который возрастает с увеличением проходного сечения.

Широкое распространение получили также *электромагнитные расходомеры* (рис. 7.28). Принцип их работы основан на том, что при наложении магнитного поля напряженностью B на поток электропроводной жидкости, движущейся в канале с диаметром D и со скоростью w , разность потенциалов U на секции с электродами определяется следующей зависимостью:

$$U = Bwd, \quad (7.23)$$

где d – расстояние между электродами.

Электрический сигнал, получаемый от расходомера, с помощью процессора преобразуется в значение расхода

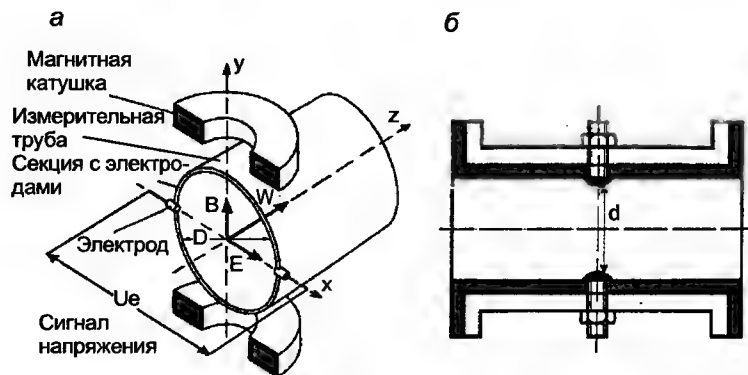


Рис. 7.28. Принцип действия электромагнитного расходомера: а – электрическая схема; б – секция с электродами

теплоносителя. Электромагнитные расходомеры используются в системах теплоснабжения открытого и закрытого типов, в системах горячего и холодного водоснабжения. Рабочим веществом могут быть вода и другие жидкости. Эти расходомеры по сравнению с турбинными имеют незначительные потери давления, так как не загромождают сечение канала. Они малочувствительны к загрязнению жидкостей и присутствию пара в воде. Зона нечувствительности в таких расходомерах отсутствует, и диапазон расхода жидкости начинается с нуля. Возможен дистанционный сбор информации с последующей автоматической обработкой.

Широко применяются также *ультразвуковые расходомеры*. Они, как и электромагнитные, имеют незначительные потери давления и мало чувствительны к загрязнениям. Принцип их работы заключается в том, что ультразвуковой сигнал проходит с различной скоростью в направлении потока и против течения (рис. 7.29).

Средняя скорость течения потока вычисляется по формуле

$$W = k \frac{\tau_{AB} - \tau_{BA}}{\tau_{AB} \tau_{BA}} = \frac{\Delta \tau}{\tau^2}, \quad (7.24)$$

где k – константа; τ – время; τ_{AB} – время прохождения сигнала в направлении течения потока; τ_{BA} – время прохождения сигнала против потока.

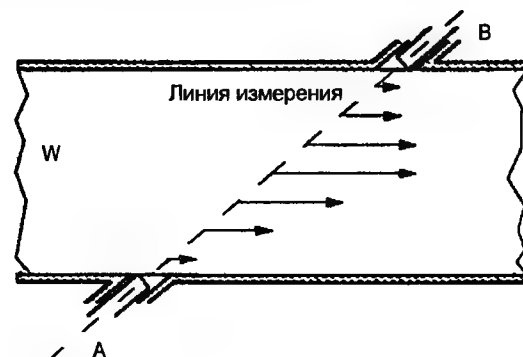


Рис. 7.29. Принцип действия ультразвукового расходомера

Объемный расход рассчитывается по формуле

$$V = W F, \quad (7.25)$$

где F – площадь сечения канала.

Измерение расхода пара имеет свои особенности. В связи с этим используются *специальные расходомеры*, например вихревой, когда в поток помещается вихреобразующий объект. Скорость образования и распространения вихрей увеличивается прямо пропорционально расходу пара. Датчик заключается в полость вихреобразующего тела, через которую проходят вихри. Изменение положения датчика обеспечивает поступление сигнала на регистрирующее устройство.

Комбинированное измерение температур и расхода теплоносителя позволяет определять количество потребляемой теплоты. Современные измерительные системы оснащены процессором для обработки данных и позволяют получить широкий спектр как текущей, так и ретроспективной информации. Ретроспективная информация

хранится несколько лет. Кроме того, возможен дистанционный сбор и обработка данных измерений. Одна из типовых схем такой универсальной измерительной системы представлена на рис. 7.30. С помощью этой системы определяется расход теплоты на отопление и расход горячей и холодной воды в системе водоснабжения. В соответствии с существующим положением датчики расхода теплоносителя, горячей и холодной воды обязательно должны проходить периодическую поверку.

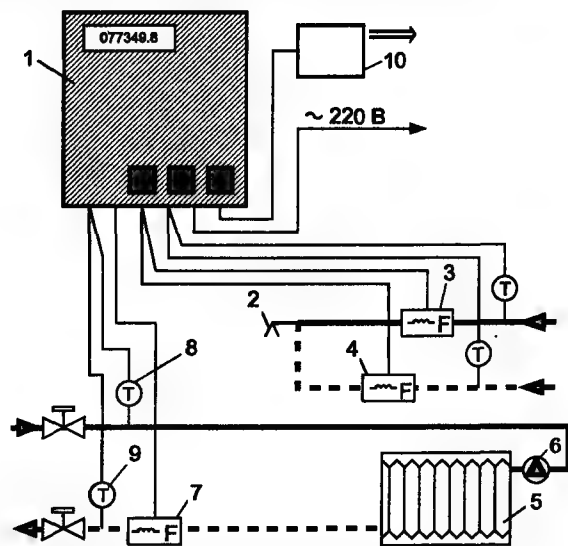


Рис. 7.30. Принципиальная схема измерительной системы учета теплоты и расхода воды:

1 – регистратор; 2 – потребители воды; 3 – расходомер горячей воды; 4 – расходомер холодной воды; 5 – отопительный прибор; 6 – термостатирующий вентиль; 7 – расходомер в отопительной системе; 8 – датчик температуры в подающей линии; 9 – датчик температуры в обратной линии; 10 – интерфейс последовательной связи для вывода данных

Для организации оптимального процесса сжигания топлива измеряется состав дымовых газов. Измерения проводятся с помощью *газоанализаторов*. В настоящее время все большей популярностью пользуются электрон-

ные газоанализаторы, позволяющие получать оперативную информацию, необходимую для регулирования и настройки топливосжигающих установок. Простейшие приборы определяют лишь концентрации O_2 и CO_2 , а универсальные – дополнительно измеряют концентрации NO , NO_2 , SO_2 , температуру, скорость, давление и выдают значение коэффициента избытка воздуха. В качестве первичных приборов используются зонды и датчики, в том числе многофункциональные. Приборы оснащаются интеллектуальной измерительной системой для обработки, хранения и печати данных.

Традиционно наиболее налажен учет электрической энергии. Этот учет отработан и является обязательным как на предприятиях и в учреждениях, так и в бытовом секторе. В настоящее время получили распространение *автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)*, которые предназначены для измерения и определения расхода электрической энергии и мощности, а также автоматического сбора, обработки и хранения данных со счетчиков электроэнергии и отображения полученной информации в удобном виде для анализа и диагностики работы учета. Счетчики – важнейший элемент АСКУЭ.

До недавнего времени наиболее распространенными были *индукционные счетчики электрической энергии*. Однако они обладают рядом недостатков, основными из которых являются невысокий класс точности (второй) и наличие механических рабочих элементов конструкции. Механические элементы в процессе работы изнашиваются, и со временем точность измерений ухудшается. Кроме того, эти счетчики позволяют потреблять неучтенную энергию.

В последнее время индукционные счетчики электрической энергии заменяются электронными с более высокой точностью измерений (класс точности – первый) и без механических рабочих элементов. В большинстве случаев в таких счетчиках используются жидкокристаллические индикаторы. Кроме того, *электронные счетчики* не позволяют использовать неучтенную энергию. Имеются модификации многотарифных счетчиков, которые стимули-

ругут потребление электроэнергии в ночное время, тем самым улучшая график электрической нагрузки в электросети. Современные счетчики строятся на базе микропроцессоров с цифровыми выходами и возможностью работы с компьютером.

Для анализа эффективности потребления электрической энергии кроме счетчиков учета используются и многие другие приборы. Измерение электрической нагрузки проводится как стационарными приборами (*ваттметры*), так и портативными («клещи»). Потребляемая активная мощность может также регистрироваться с помощью стационарных и портативных *вольтметров* и *амперметров*. Все показатели качества электроэнергии по напряжению зависят от объема потребления реактивной мощности нагрузкой предприятия, поэтому необходим ее контроль. Для этих целей используются фазометры, ВАРметры.

Проведение оценки работы электроприводов требует наличия счетчиков включения-отключения, измерителей наработки часов в нагруженном состоянии и на холостом ходу, секундомера для измерения времени выхода на рабочий режим. Оценка эффективности электрического освещения проводится на основе измерения освещенности с помощью люксметров в сочетании с определением потребляемой мощности источниками света.

Анализ эффективности работы различных двигателей – электрических, внутреннего сгорания, паровых – требует измерения частоты вращения вала. Такие измерения проводятся с помощью *тахометров*.

В системах транспортировки и потребления энергоносителей – горячей воды, пара, природного газа, сжатого воздуха и других – могут быть течи. Потери энергоносителя снижают КПД систем передачи и потребления. Для обнаружения течей используются *течеискатели*, в основе которых лежат различные принципы работы. В трубопроводных системах эффективным обнаружителем течей является ультразвуковой течеискатель. Он позволяет с минимальными затратами времени точно локализовать места утечек энергоносителя.

Как было сказано выше, анализ эффективности использования различных видов энергии требует наличия разнообразных приборов учета и измерительной аппаратуры. Рассмотренное приборное обеспечение позволяет заложить основы учета и контроля наиболее используемых видов энергии – тепловой и электрической. Это в свою очередь является необходимой базой для организации энергетического менеджмента на производстве, в учреждении.

Регулирование потребления энергии. Регулирование количества потребляемой энергии может осуществляться ручным способом и с использованием автоматики. На эффективность первого метода большое влияние оказывает человеческий фактор, связанный с субъективным восприятием окружающего мира. Поэтому возможности ручного метода регулирования ограничены более узкими рамками. Например, такие факторы, как освещенность или температура помещения, определяющие комфортные условия в зданиях, ассоциируются у людей по-разному. Автоматическое регулирование лишено этих недостатков и позволяет поддерживать комфортные условия в соответствии с установленными нормами.

Под *автоматическим регулированием* понимается поддержание постоянным или изменяющимся по определенному закону физического параметра, характеризующего процесс. Регулирование складывается из измерения состояния объекта и действующих на него возмущений и воздействия на регулирующий орган объекта.

Среди задач, стоящих перед системой управления, основными могут быть названы:

- стабилизация (поддержание постоянными управляемых величин с заданной точностью), например поддержание температуры в помещении с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$;
- программное управление (управление физическим параметром по заранее известному закону), например функциональная зависимость температуры теплоносителя в системе теплоснабжения от температуры наружного воздуха.

По типу воздействия на объект системы управления могут быть разделены на следующие группы:

- следящие (за некоторой измеряемой величиной);
- самонастраивающиеся (на оптимальное значение какого-либо из показателей системы);
- разомкнутые (регулирование без обратной связи);
- замкнутые (регулирование с обратной связью).

В *разомкнутых системах управления*, как правило, отсутствует компенсация влияния неконтролируемых возмущений, и они применяются для систем программного управления. Например, при односменной или двухсменной работе учреждений и предприятий после окончания рабочего дня отпуск теплоты уменьшается, а перед началом – повышается до требуемых нормативов. В жилых домах, наоборот, отпуск теплоты максимален в вечернее время, когда большинство людей находятся дома и требуется поддержание комфортных условий. Кроме того, данные системы позволяют осуществлять пофасадное регулирование отпуска теплоты, которое учитывает направление и интенсивность ветра, а также потоки лучистой теплоты Солнца. Такая система дает возможность создавать однородные комфортные условия для обитателей всех помещений и приводит к более эффективному использованию энергии.

В *замкнутых системах* управляющее воздействие формируется в зависимости от управляемой величины. Они используются для систем стабилизации. На рис. 7.31 приведена функциональная схема замкнутой системы автоматического регулирования. Замкнутая цепь, элементами которой являются объект регулирования, датчик, регулятор и исполнительное устройство, является контуром регулирования. Регулятор включает устройство сравнения, задатчик (формирователь уставок) и усилитель сигнала рассогласования $e = Y - Y_0$. Состояние объекта регулирования измеряется датчиком (текущее значение – Y) и сравнивается в регуляторе с заданным значением (уставкой – Y_0). Сигнал рассогласования e , соответствующим образом усиленный, поступает на вход исполнительного устройства, которое обрабатывает это рассогласование таким образом, чтобы вернуть объект регулирования в заданное состояние.

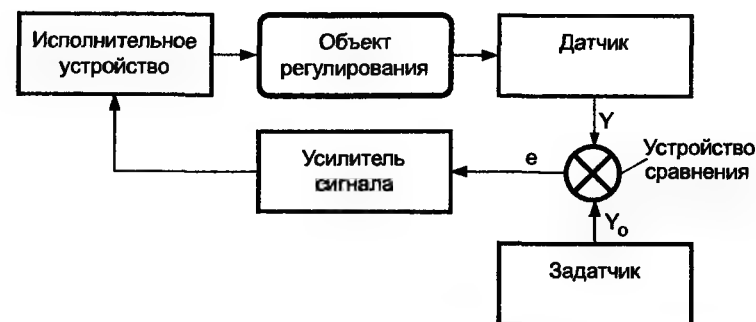


Рис. 7.31. Функциональная схема замкнутой системы регулирования

Рассмотрим типовую функциональную схему автоматического регулирования, применяемую в системах теплоснабжения зданий (рис. 7.32). Регулятор 2 предназначен для качественного и количественного регулирования отпуска теплоты в системах отопления. При качественном регулировании температуры теплоносителя, подаваемого в отопительные приборы 7, контроль над ней осуществляется по датчику 4 в подающем теплопроводе. В зависимости от температуры наружного воздуха, измеряемой датчиком 1, для поддержания комфортных условий в здании температура теплоносителя изменяется. Так, при высокой температуре наружного воздуха здание обогревается слабее и наоборот. Для более эффективного использования тепловой энергии регулятор ограничивает максимальное значение температуры «обратной» воды. Контроль над температурой осуществляется с помощью датчика 8, а регулирование проводится подмешиванием части потока «обратной» воды в «прямую» через реверсивный привод регулирующего трехходового клапана 9.

При количественном регулировании осуществляется управление насосом 5. При понижении температуры наружного воздуха расход теплоносителя увеличивается, а при повышении – уменьшается.

Учет тепловой энергии, потребляемой системой отопления, осуществляется на основании уравнения теплового

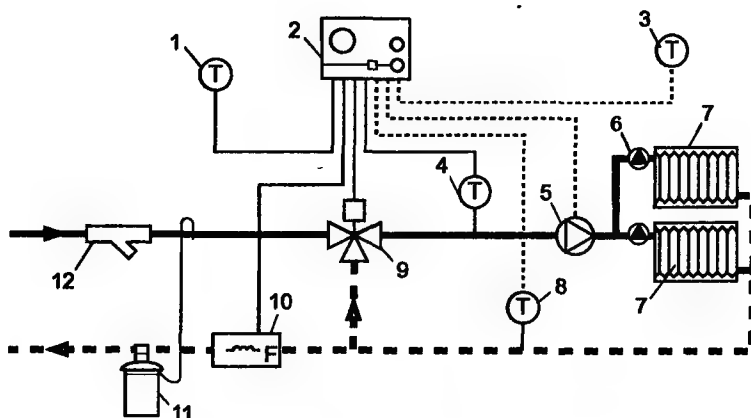


Рис. 7.32. Автоматизированная система отпуска и учета теплоты в зданиях:

1 – датчик температуры наружного воздуха; 2 – регулятор; 3 – датчик температуры помещения; 4 – датчик температуры воды в прямом теплопроводе; 5 – насос; 6 – термостатирующий вентиль; 7 – отопительные приборы; 8 – датчик температуры воды в обратном теплопроводе; 9 – трехходовой регулирующий клапан с реверсивным приводом; 10 – электромагнитный расходомер; 11 – регулятор перепада давления; 12 – фильтр

баланса путем измерения расхода датчиком 10 и температур «прямой» и «обратной» воды датчиками 4 и 8.

Неравномерное распределение теплоносителя по стоякам и отопительным приборам вызывает различие температур в помещениях здания. С помощью регулятора перепада давления прямого действия 11 поддерживается требуемая для системы теплоснабжения разность давлений в подающем и обратном теплопроводах независимо от их колебаний и изменения расхода теплоносителя в системе. При росте перепада давления клапан закрывается, а при уменьшении – открывается, что обеспечивает стабильность в системе теплоснабжения. Постоянство разности давлений – это обязательное условие для оптимального регулирования. Правильное гидравлическое уравнивание стояков может вызвать уменьшение средней температуры циркуляционной воды на 1–3 °С. Уменьше-

ние средней температуры воды на 1 °С соответствует ежегодной экономии энергии, равной 5–8 %.

В двухтрубных системах отопления может быть реализовано индивидуальное регулирование отпуска теплоты на каждом отопительном приборе без ущерба для других потребителей теплоты. Регулирование может быть как ручным, так и автоматическим. В последнем случае может быть использован *термостатирующий вентиль* (радиаторный терморегулятор). Установка таких терморегуляторов позволяет за отопительный сезон сэкономить приблизительно 15 % энергии. Понижение температуры в отапливаемом помещении на 1 °С уменьшает потребление энергии на 7 %.

Принцип действия термостатирующего вентиля (рис. 7.33) заключается в следующем. Установка режима работы производится ручным регулятором 1, который соединен с регулирующим органом. При повышении температуры воздуха в отапливаемом помещении увеличивается объем термочувствительного элемента 2. Увеличение объема приводит к перемещению штока датчика температуры 3, который воздействует на клапан 6. В результате уменьшается проходное сечение для теплоносителя. Снижается его расход, что и вызывает уменьшение средней температуры теплоносителя в отопительном приборе, а следовательно, и воздуха в помещении.

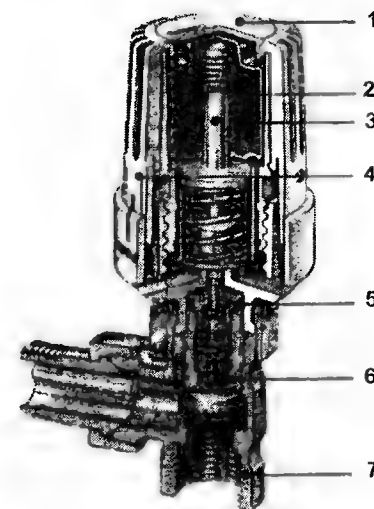


Рис. 7.33. Радиаторный терморегулятор:

1 – регулятор для установок режима отопления; 2 – термочувствительный (жидкостный) элемент; 3 – шток датчика температуры; 4 – шкала настройки; 5 – сальник; 6 – клапанный узел; 7 – резьбовое подсоединение

Достоинством термостатирующих вентилей является также и то, что регулировка расхода теплоносителя производится с учетом поступления теплоты от других источников в помещении. Электрическое освещение, бытовые электроприборы, плиты, холодильники и сам человек отдают теплоту в помещение, что и учитывается индивидуальными регуляторами теплоты. На рынке в настоящее время имеется широкая гамма термостатирующих вентилей различных производителей.

Регулирование энергопотребления может также осуществляться в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения, освещения, сжатого воздуха, а также в технологических процессах сушки, термообработки, гальваностегии и других случаях.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое энергетические отходы? Назовите их типы.
2. Что такое ВЭР? Как они классифицируются? Каким параметром определяется энергетический потенциал каждого из видов ВЭР?
3. Как рассчитать удельный и общий выход ВЭР?
4. Как оценить экономию топлива за счет использования тепловых ВЭР или горючих ВЭР?
5. Какие источники и виды горючих ВЭР есть в Беларуси?
6. Какие устройства применяются для утилизации древесных отходов с целью получения энергии?
7. Приведите технологическую схему утилизации древесных отходов с целью получения энергии.
8. Какую роль играют теплообменные аппараты в энергосбережении?
9. Приведите пример использования тепловых ВЭР.
10. С помощью каких устройств утилизируются ВЭР избыточного давления?
11. Для чего предназначены трансформаторы тепла? Назовите их типы.
12. Какие параметры характеризуют эффективность теплового насоса, холодильной машины и комбинированного трансформатора тепла?

13. Объясните принцип работы компрессионного трансформатора тепла.
14. Каков принцип работы абсорбционного трансформатора тепла?
15. Объясните принцип работы адсорбционного трансформатора тепла.
16. Приведите примеры использования трансформаторов тепла.
17. Что такое световая отдача? Для каких целей применяется этот параметр?
18. Перечислите известные источники освещения и назовите их светоотдачу.
19. Какие мероприятия позволяют снизить потребление электроэнергии на освещение?
20. Назовите виды электроприводов.
21. Какие мероприятия позволяют снизить потребление энергии электроприводами?
22. Какие способы регулирования производительности центробежных механизмов используются? Какие из них позволяют достичь максимального снижения потребления электроэнергии?
23. Какие мероприятия приводят к экономии энергии в электротермических установках?
24. Как добиться снижения потребления электроэнергии при использовании бытовых электроплит, холодильников, пылесосов?
25. Назовите два направления энергосбережения в строительстве, способствующие уменьшению потребления теплоты в зданиях.
26. Что дает утепление ограждающих конструкций зданий? Каким образом оно осуществляется?
27. Каким образом можно снизить потери теплоты через окна?
28. Что такое инфильтрация воздуха? Назовите предельно допустимое значение коэффициента инфильтрации воздуха.
29. Как рассчитать потери теплоты через ограждения зданий?
30. В чем заключается модернизация систем отопления зданий, направленная на уменьшение теплопотребления?
31. Зачем необходим контроль и учет энергоресурсов?

32. Какие методы используются для определения количества потребляемого топлива?
33. Каким образом можно измерить количество потребляемой теплоты?
34. С помощью каких приборов можно измерить температуру? Как они устроены и каков принцип их работы?
35. Какие приборы используются для измерения расхода теплоносителя? Каков принцип их работы?
36. Что такое инфракрасная термография? Где она применяется?
37. С помощью каких приборов осуществляется учет электрической энергии?
38. Какие электросчетчики предпочтительней использовать?
39. Как работает замкнутая система автоматического регулирования?
40. В чем отличие разомкнутой системы регулирования от замкнутой?
41. Поясните особенности качественного и количественного методов регулирования в системе теплоснабжения.
42. Для чего служит термостатирующий вентиль? Как он работает?

ГЛАВА

8

ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
МЕНЕДЖМЕНТЕ8.1. ПЛАНИРОВАНИЕ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ
НА РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Типы инвестиционных проектов. Планирование капиталовложений (в том числе и на развитие энергетических источников) представляет собой процесс принятия долгосрочных решений относительно возможных вариантов инвестирования средств. В принципе, имеются два типа решений о долгосрочных инвестициях.

1. *Решения на дополнительное приобретение*, предусматривающие приобретение новых активов или расширение уже существующих. Они включают в себя:

- капитальные вложения в имущество, станки и оборудование, а также другие виды активов;
- вовлечение ресурсов в оборот в форме разработки новой продукции, проведения исследований рынка, компьютеризации рабочих мест, рефинансирования долгосрочных пассивов и т. п.

2. *Решения на обновление*, предусматривающие замену устаревших средств производства на новые (например, замену станка устаревшей модели на высокотехнологичную модель).

Не останавливаясь специально на анализе понятия «инвестиции», отметим следующие важные особенности, подразумеваемые при его использовании:

- инвестиции предназначаются для достижения конкретной социальной и (или) экономической цели;
- инвестиционные ресурсы используются для организации вполне определенной долговременной деятельности, направленной на достижение этой цели;
- рассматриваемая деятельность ограничена во времени.

В связи с этим возможна следующая упрощенная трактовка понятия инвестиционный проект: проект включает

в себя замысел (проблему), средства его реализации (решения проблемы) и получаемые в процессе реализации результаты (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Обобщенная структура проекта

Проектный цикл включает три основные фазы:

- предынвестиционную;
- инвестиционную;
- эксплуатационную.

Предынвестиционная фаза проекта заканчивается составлением *бизнес-плана* проекта — документа, представляющего проект для привлечения заемных средств на его реализацию. Бизнес-план содержит подробную и всестороннюю информацию о проекте и ориентирован на конкретного потенциального инвестора — кредитора, собственника, частного вкладчика.

Подготовке конкретного бизнес-плана предшествует всесторонний и тщательный анализ проекта. К различным видам проектного анализа, помимо технического анализа реализуемости внедряемых технологий, следует отнести:

- коммерческий анализ;
- социальный анализ;

- экологический анализ;
- институционально-организационный анализ;
- финансовый анализ;
- экономический анализ.

В соответствии с полным проектным циклом от его формулирования до реализации (рис. 8.2) складывается определенная структура проекта как документа, т. е.: система организационно-технической, технологической, финансово-экономической и другой документации, обосновывающей и описывающей действия, необходимые для достижения какой-то выбранной цели.

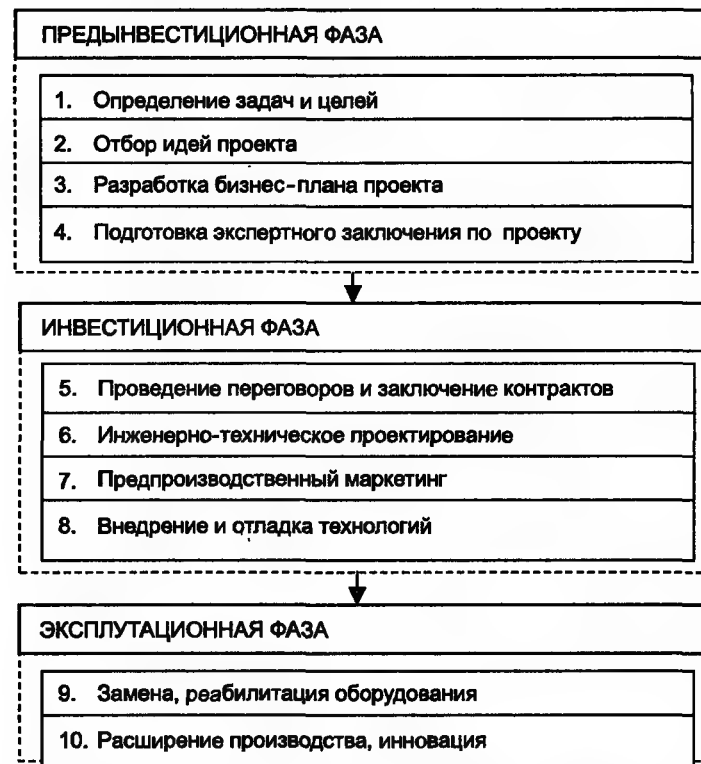


Рис. 8.2. Последовательность шагов в рамках полного проектного цикла

Классификация проектных решений. Все участники проекта заинтересованы в том, чтобы снизить вероятность принятия неудачного (неэффективного) решения, избежать полного провала проекта или хотя бы значительных убытков. Для этого участники проекта вынуждены учитывать все возможные последствия его реализации в быстро меняющейся рыночной среде.

Для снижения вероятности принятия неэффективного решения необходимо оценить, к какой сфере экономики (позитивной или нормативной) оно относится, уметь решать проблему (готовить и принимать решение) поэтапно.

Проектные решения классифицируются по различным признакам (табл. 8.1), знание которых позволяет лицам, принимающим решения, определить особенность конкретного проектного решения, а также наиболее рациональный метод оценки его эффективности.

Таблица 8.1

Классификация проектных решений

Признак классификации	Характеристика решений
Содержание	Политические, социальные, технологические, экологические и т. д.
Срок действия	Краткосрочные (оперативные), среднесрочные (тактические), долгосрочные (стратегические)
Число лиц, принимающих решение	Индивидуальные, коллективные
Число целей	Одноцелевые, многоцелевые
Среда принятия решения	Определенность (вероятная неопределенность), неопределенность
Степень повторяемости	Разовые, программируемые
Информационная база	Построена на основе достоверных или апостериорных данных
Степень уникальности решений	Рутинные, творческие
Возможность использования эксперимента	Имеется, отсутствует

8.2. ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Определение проектных рисков. Проектный риск определяется как опасность, возможность убытка или ущерба. Следовательно, риск относится к возможности наступления какого-либо неблагоприятного события: потеря части ресурсов, снижения доходов или появления дополнительных расходов по сравнению с вариантом, предусмотренным проектом.

Вместе с тем при принятии решения о реализации инвестиционных проектов необходимо учитывать взаимосвязь между риском проекта и прибылью на инвестируемый капитал, показывающую, что при большем риске проект должен иметь большую прибыль инвестора (рис. 8.3).

Риск обычно подразделяется на два типа – динамический и статический.

Динамический риск – это риск непредвиденных изменений стоимости основного капитала. Такие изменения могут привести как к потерям, так и к дополнительным доходам.

Статический риск – это риск потерь реальных активов вследствие нанесения ущерба собственности, а также потерь доходов из-за недееспособности организации. Эти обстоятельства приводят только к потерям.

Все факторы, которые потенциально могут повлиять на увеличение степени риска проекта, целесообразно разделить на две группы – объективные и субъективные.

К объективным факторам относятся факторы, не зависящие непосредственно от самого участника проекта. В теории менеджмента эти факторы называют факторами внешней среды.

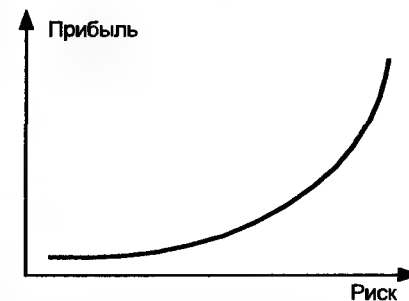


Рис. 8.3. Взаимосвязь прибыли и риска инвестиционного проекта

Субъективные факторы характеризуют внутреннюю среду организации. К таким факторам относятся производственный потенциал, организация труда, степень кооперированных связей, уровень производительности труда, выбор типа контрактов с инвестором, заказчиком и т.д.

Проектные инвестиционные решения могут приниматься в различных условиях, которые называются *средой принятия решений*. Обычно выделяют три возможные среды – определенности, риска (вероятностной определенности), неопределенности.

Среда определенности характеризуется известными будущими исходами осуществления проекта.

Средой риска в этом случае является ситуация, когда известны возможные исходы осуществления проекта и вероятности их появления.

Среда неопределенности соответствует такой ситуации, когда известны только возможные исходы осуществления проекта и неизвестны вероятности этих исходов.

Все риски, которые могут возникать при реализации того или иного проекта, можно подразделить на политические, социальные, экономические, экологические, юридические.

Политический риск представляет собой угрозу извне, отношение региональных органов власти к политике правительства и иностранным инвестициям, степень вмешательства государства в экономику, возможность национализации без полной компенсации, введение запретов на импорт и т. д.

Социальный риск характеризуется уровнем безработицы, возможностью забастовок, выражением недоверия со стороны работников органам власти на местах, администрации предприятия и т. д. В ряде случаев эти виды рисков объединяют и определяют *социально-политический риск*.

Экономический риск в свою очередь можно подразделить на:

- *производственный*, связанный с возможностью невыполнения предприятием своих обязательств по контракту с заказчиком;

- *финансовый* (кредитный), связанный с возможностью невыполнения предприятием своих финансовых обязательств перед инвестором;

- *рыночный*, вызываемый колебаниями курсов валют и процентных ставок;

- *инвестиционный*, связанный с возможностью обеспечения инвестиционного портфеля, состоящего как из собственных, так и приобретенных ценных бумаг;

- *коммерческий*, отражающий ненадежность будущих доходов за счет уменьшения объемов продаж, роста цен на потребляемые ресурсы и прочих факторов.

Экологический риск связан с возможным возникновением стихийных бедствий, пожаров, аварий и т. п.

Юридический риск вызывается неблагоприятными для участников проекта изменениями в законодательстве (введение нового налога, повышение ставок по действующим налогам, отмена налоговых льгот и т. д.).

По стадиям проявления риск можно классифицировать на предоперационный и операционный. Анализ по стадиям осуществления проекта позволяет финансирующей организации выявить риск, присущий конкретному проекту, и предусмотреть меры по его снижению.

Изучение предоперационного риска включает в себя:

- анализ устава предприятия, реализующего проект;
- анализ возможностей и прав распоряжаться, арендовать, использовать помещения, землю, оборудование, природные ресурсы;

- проверку защищенности авторских прав, документов, подтверждающих экологическую чистоту производства, пожарной безопасности, контрактов на строительство производственных объектов, на поставку энергии, воды, на транспортное обслуживание и т. д.;

- оценку укомплектованности предприятия квалифицированной рабочей силой;

- оценку имеющихся у предприятия финансовых ресурсов.

При исследовании операционного риска оценивают:

- возможность падения объемов продаж (производства);

- стабильность системы налогообложения, обменного курса валют, уровень гарантий по кредитам;
- ритмичность материально-технического обеспечения производства.

Анализ проектных рисков. Основное назначение анализа риска заключается в том, чтобы дать потенциальным партнерам необходимую информацию для принятия решений о целесообразности участия в проекте и предусмотреть меры по защите от возможных финансовых потерь.

Анализ рисков можно подразделить на два взаимно дополняющих друг друга вида: качественный и количественный.

Главная задача качественного анализа – определить факторы риска, этапы и работы, при выполнении которых он возникает, установить его потенциальные области, после чего идентифицировать все возможные риски.

Количественный анализ подразумевает численное определение размеров отдельных рисков и риска проекта в целом. При этом часто используется метод экспертных оценок, заключающийся в том, что каждому показателю, характеризующему определенный вид риска, присваивается некоторое количество баллов. Каждый из показателей в системе оценки имеет свой вес, соответствующий его значимости. Затем полученные в процессе экспертизы баллы суммируются по всем показателям с учетом весовых коэффициентов, и образуется обобщенная оценка данного вида риска:

$$R_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} r_{ij},$$

где R_j – обобщенная оценка риска j -го вида; b_{ij} , r_{ij} – соответственно весовой коэффициент и значение i -го показателя риска j -го вида; n – число показателей.

Областью риска называется некоторая зона потерь, в границах которой они не превышают предельного значения установленного уровня риска. Выделяются пять областей риска при расчете его общего уровня с учетом

достаточности капитала предприятия или инвестиционной компании:

I – *безрисковая область* (гарантируется, как минимум, получение расчетной прибыли, коэффициент риска – 0 %);

II – *область минимального риска* (гарантируется получение основной части чистой прибыли, коэффициент риска – 0–25 %);

III – *область повышенного риска* (в худшем случае будет произведено покрытие всех затрат, в лучшем – получена небольшая часть прибыли, коэффициент риска – 25–50 %);

IV – *область критического риска* (потери превышают величину расчетной прибыли, но находятся в пределах валовой прибыли, коэффициент риска – 50–75 %);

V – *область недопустимого риска* (потери близки к размеру собственных средств, предприятие находится на грани банкротства, коэффициент риска – 75–100 %).

О степени риска проекта можно судить по чувствительности (уязвимости) показателей эффективности инвестиционных проектов к изменению переменных параметров, составляющих часть выгод или затрат. Анализ чувствительности призван дать оценку того, насколько изменится эффективность проекта при определенном изменении одного из исходных параметров проекта (цен на продукцию, объемов производства и продаж, размера инвестиций, текущих затрат, налоговых ставок и т. д.). Чем сильнее зависимость критериев эффективности от изменения каких-либо переменных факторов, тем выше риск. Анализ чувствительности может применяться как для определения факторов, в наибольшей степени влияющих на эффективность проекта, так и для сравнительной оценки риска двух и более конкурирующих проектов.

Способы снижения инвестиционных рисков. Большинство проектов, связанных с созданием энергетических источников, характеризуется большими капитальными вложениями и сроками реализации и, соответственно, повышенной степенью риска. В свою очередь высокая степень риска проекта приводит к необходимости поиска путей ее снижения.

В практике управления проектами существует несколько способов снижения риска:

- диверсификация проекта;
- распределение риска между участниками проекта;
- страхование риска;
- приобретение дополнительной информации;
- резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов.

Риск проекта на этапе его реализации можно уменьшить, предусмотрев диверсификацию – распределение усилий предприятия между видами деятельности, результаты которых непосредственно не связаны между собой. Принимая решение об инвестициях в какой-либо проект, инвестор должен рассматривать его не изолированно, а во взаимосвязи с другими проектами и с уже имеющимися видами деятельности предприятия. В целях снижения риска желательно выбирать производство таких товаров или услуг, спрос на которые изменяется в противоположных направлениях.

Распределение риска между участниками проекта также является одним из способов его снижения. Обычная практика распределения риска заключается в том, чтобы сделать ответственным за конкретный вид риска того участника проекта, который в состоянии лучше всех остальных рассчитывать и контролировать этот риск. Распределение риска реализуется при разработке финансового плана проекта и контрактных документов. При этом следует учитывать, что чем большую степень риска участники проекта намереваются возложить на инвесторов, тем сложнее привлечь инвесторов к финансированию проекта.

Большинству крупных проектов свойственны задержки в их реализации, что может привести для заказчика к такому увеличению стоимости работ, которая превысит первоначальную стоимость проекта.

Например, в результате отставания ввода в эксплуатацию нефтепровода, предназначенного для транспортировки нефти осваиваемого месторождения, штраф, который должен заплатить подрядчик (строительная организа-

ция), окажется значительно меньше потерь заказчика (добывающего предприятия).

Выход из такой ситуации заключается в том, что к участию в проекте должна быть привлечена страховая компания. Страхование риска есть по существу передача определенных рисков страховой компании.

Уменьшить уровень риска проекта в ряде случаев можно путем приобретения дополнительной информации, позволяющей уточнить некоторые параметры проекта, повысить уровень надежности и достоверности исходной информации и снизить вероятность принятия неэффективного решения. Дополнительную информацию можно получить различными способами – приобретением ее у других организаций (предприятий, научно-исследовательских и проектных организаций, консалтинговых фирм и др.), проведением эксперимента и т. д.

Последним из наиболее распространенных способов снижения риска проекта является резервирование средств на покрытие непредвиденных расходов.

8.3. СХЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ

Финансирование проектов может осуществляться как на возвратной, так и безвозвратной основе.

Преимущественная форма реализации схемы финансирования проектов на безвозвратной основе – государственные программы капиталовложений. Схемы финансирования проектов на возвратной основе в большей степени присущи переходной и рыночной экономике.

Средства, выделенные на возвратной основе, подлежат возврату в соответствии с действующим законодательством. Здесь возможна реализация нескольких схем финансирования (рис. 8.4).

Традиционная система финансирования включает инвестора (кредитора), потребителя энергоэффективной технологии и ее поставщика. Потребитель берет заем у кредитора или использует долевые средства инвестора, заключает договор с поставщиком на приобретение оборудования, предварительно оплачивая его стоимость, и за счет последующей экономии энергии погашает долг перед кредитором.

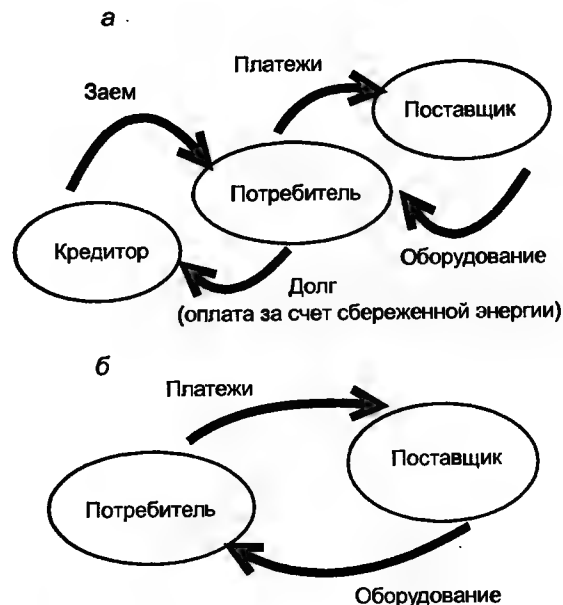


Рис. 8.4. Схемы финансирования: а – традиционная; б – лизинг

Лизинг позволяет потребителю взять в аренду энергоэффективное дорогостоящее оборудование с условием постепенной выплаты стоимости с процентами за счет экономии средств от снижения потребления энергии после его внедрения. Аренда может быть среднесрочной или долгосрочной. Во многих случаях целесообразно, чтобы договор предусматривал после полной выплаты стоимости оборудования передачу его в собственность потребителю.

За рубежом получило распространение финансирование внедрения энергосберегающих проектов в виде *перформанс-контрактов*. На рынке услуг многих стран, прежде всего в США и Западной Европе, работают энергосервисные компании (ЭСКО), которые берут на себя весь комплекс работ от проведения тщательного энергоаудита, с целью выявления резервов повышения эффективности использования энер-

гии, до внедрения энергоэффективных технологий под ключ. Оплата услуг ЭСКО осуществляется после внедрения проекта за счет части средств, полученных в результате экономии энергии. Могут быть реализованы два вида перформанс-контрактов – по линейной и кольцевой схеме.

Линейная схема финансирования предусматривает (рис. 8.5), что заем берет энергосервисная компания, которая после разработки проекта осуществляет все платежи, связанные с закупкой оборудования и его монтажом. Договор между потребителем услуг и ЭСКО предусматривает их оплату после внедрения проекта и фактической экономии энергии. Доля средств за счет сбережения энергии, направляемая предприятием на оплату услуг, оговаривается в договоре.

В соответствии с *кольцевой схемой финансирования* (рис. 8.6) кредитор выделяет средства под гарантии потребителя, который оплачивает услуги энергосервисной компании. ЭСКО разрабатывает и внедряет проект, помогает закупать оборудование, но при этом часть платежей поставщику непосредственно осуществляет потребитель. В итоге погашение долга опять осуществляется за счет сбережения энергии.



Рис. 8.5. Линейная схема финансирования на основе перформанс-контрактов

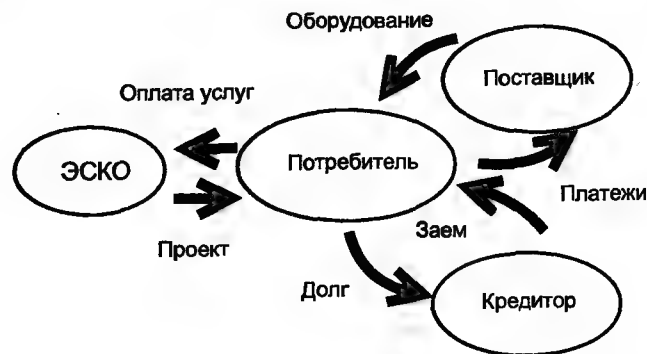


Рис. 8.6. Кольцевая схема финансирования на основе перформанс-контрактов

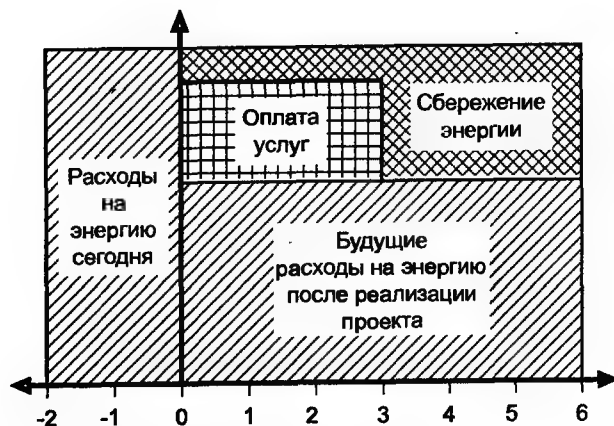


Рис. 8.7. Схема образования прибыли

Прибыль за счет сбережения энергии складывается из разности текущих расходов на энергию до и после реализации энергоэффективного проекта (рис. 8.7). За счет сбережения энергии осуществляется оплата услуг энергосервисной компании или другому кредитору.

8.4. «ЭКОНОМИЧЕСКИЕ» МЕТОДЫ ПРОЕКТНОГО АНАЛИЗА

Общие положения. «Экономические» методы проектного анализа включают:

- финансовый анализ;
- собственно экономический анализ.

Финансовый и экономический анализы имеют между собой как определенные сходства, так и существенные различия в подходах к определению эффективности проектов. Вместе с тем следует понимать условность разделения методов проектного анализа на «экономические» и «неэкономические». В рамках интегрированного подхода к анализу проектов все используемые при этом методы предполагают экономические оценки ожидаемых результатов их реализации.

Финансовый анализ. Финансовый анализ проектов является одним из главных при разработке инвестиционного проекта. Он рассматривает результаты проекта с точки зрения интересов его непосредственных участников.

В результате финансового анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов.

- ♦ Возмещаются ли финансовые затраты на проект в результате его реализации, как быстро и с какой рентабельностью?
- ♦ Позволяет ли финансовое состояние фирмы реализовать проект, обеспечить возмещение затрат и получение прибыли?
- ♦ Как отразятся на возможности возмещения затрат и рентабельности проекта различные схемы его финансирования?
- ♦ Насколько устойчивы финансовые показатели по отношению к различного рода рискам и неопределенностям?

Анализ финансовой рентабельности проекта должен учитывать поток реальных денег предприятия, реализующего проект, включая взаимодействие с государством, которое получает от него налоги и другие обязательные платежи (рис. 8.8).

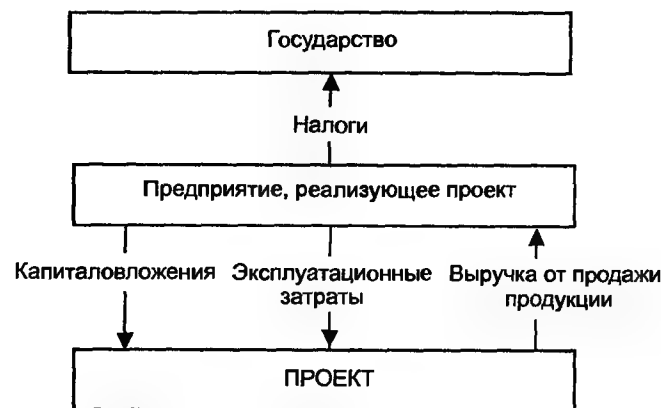


Рис. 8.8. Проект и его окружение

При формировании денежных потоков проекта, используемых при его финансовом анализе, необходимо учитывать ряд особенностей, отличающих данный анализ от обычных бухгалтерских расчетов. Эти особенности связаны с фундаментальным экономическим понятием альтернативных издержек.

Любой ресурс, затрагиваемый проектом, должен оцениваться по стоимости его возможного наилучшего использования. При оценке ценности используемых ресурсов принимаются во внимание как явные (бухгалтерские) затраты, которые приводят к фактическим денежным выплатам, так и неявные, которые не приводят к денежным расходам (выплатам). К неявным издержкам относятся издержки упущенных возможностей, связанные с использованием ресурсов, которые вовлекаются в проект, но могли быть использованы в другом проекте и принести определенный доход. Этот доход и считается издержками, связанными с использованием данных ресурсов. Таким образом, методологическое понятие об *альтернативных издержках* приводит к необходимости оценки ситуаций «с проектом» и «без проекта». Сравнение этих ситуаций представляет собой общий подход, применяемый в проектном анализе для демонстрации то-

го, что будет происходить с течением времени с предприятием при реализации проекта и что будет при его отсутствии.

Экономический анализ проектов. Экономический анализ проектов проводится с позиций интересов всего общества, с позиций экономики страны.

В результате экономического анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов.

- ♦ Превышают ли выгоды для страны в целом все затраты, связанные с реализацией и эксплуатацией проекта (с учетом альтернативных возможностей использования ресурсов, перераспределения финансовых платежей внутри страны, экологических и социальных затрат и выгод)?

- ♦ Сохраняется ли это превышение при учете различного рода рисков и неопределенностей?

Необходимость проведения экономического анализа вытекает из макроэкономической концепции ограниченности ресурсов (и в первую очередь, энергетических). Это означает ограниченность возможного выпуска товаров и услуг на данный момент. Поэтому приходится выбирать между конкурирующими вариантами использования ресурсов.

Оценить проект с позиций интересов национальной экономики страны означает проверить разумность с точки зрения общества выделения ресурсов на осуществление именно этого проекта при наличии многих альтернатив.

Особую значимость экономический анализ приобретает для инвестиционных проектов в энергетике, так как, с одной стороны, энергетический комплекс является важнейшим элементом экономики и, с другой – капитальные затраты на его развитие очень высоки. Кроме того, экономический анализ должен позволить не только оценить эффективность использования средств на протяжении всего жизненного цикла проекта, но и создать базу для исследования влияния проекта на различные группы населения и природную среду. При таком подходе экономический анализ становится интегрирующим, объединяющим результаты анализа по другим аспектам, включая технический, социальный и экологический.

Итак, цель экономического анализа каждого проекта – определить, является ли он экономически выгодным использованием средств, которыми располагает общество в целом.

Особенности «экономических» методов анализа проектов. Финансовый и экономический анализы имеют между собой определенные сходства и различия (табл. 8.2).

Схема оценки проекта в любом случае предусматривает сопоставление выгод и затрат проекта. При этом используются формально те же критерии, что и в финансовом анализе. Однако следует помнить, что вследствие различия целей показатели эффективности отражают в одном случае соотношение затрат и выгод для предприятия (фирмы), а в другом – для всего общества, экономики страны.

Таблица 8.2

Сходства и различия «экономических» методов проектного анализа

Сходства	Различия
Схема оценки Критерии оценки проекта	Цели проекта Трактовка налогов и платежей, субсидий, дотаций и пособий Трактовка кредитных операций внутри страны Формирование показателей затрат и выгод

Существенное различие между финансовым и экономическим анализами состоит в трактовке налогов, субсидий и дотаций.

В финансовом анализе налоги, которые платит предприятие, реализующее проект, увеличивают его затраты на осуществление проекта. Аналогично любые субсидии, предоставляемые предприятию, увеличивают его доходы от проекта. Таким образом, в финансовом анализе все налоги и субсидии трактуются аналогично остальным расходам и поступлениям.

В экономическом анализе трактовка налогов и субсидий отличается от трактовки остальных платежей. В данном анализе при определении «выгод», «затрат» уплата налогов не учитывается как затрата при оценке проекта.

Такая трактовка относится ко всем видам налоговых выплат, включая прямые налоги на доходы и косвенные налоги, например акцизные сборы и НДС.

Экономическая эффективность проекта измеряется, как и в финансовом анализе, показателями чистой текущей стоимости и экономической нормы рентабельности. Вместе с тем многие выгоды и некоторые затраты не удается определить с необходимой точностью и оценить в деньгах. Поэтому в экономическом анализе принято различать материальные и нематериальные выгоды (затраты).

К материальным выгодам можно отнести:

- увеличение объема продукции;
- повышение качества продукции;
- изменение вида продукции (переработка);
- снижение издержек;
- снижение издержек у потребителя;
- предотвращение потерь и т. д.

Нематериальные выгоды предполагают:

- рост уровня образования;
- улучшение здоровья;
- появление возможностей для отдыха;
- повышение уровня жизни и др.

Особые трудности, естественно, вызывают нематериальные выгоды, которые необходимо определить, дать им количественное выражение и, если возможно, оценить в денежном выражении.

Наряду с формированием структуры «выгод» и «затрат» одной из наиболее трудных задач в экономическом анализе является определение экономических цен (ценностей) для расчета показателей эффективности проекта. В связи с этим в экономическом анализе проекта появляется понятие альтернативной стоимости.

Рассмотрим следующие модельные ситуации, поясняющие понятие альтернативной стоимости.

Ситуация 1.

Предположим, что страна импортирует природный газ в течение многих лет. Однако в последние годы было открыто круп-

ное газовое месторождение, запасы которого достаточны для того, чтобы покрыть потребности страны и отказаться от импорта газа. Какова будет экономическая цена такого газа?

Импорт природного газа представляет альтернативу для страны, и цена импорта на газ отражает истинную альтернативную стоимость добычи природного газа в стране.

Ситуация 2.

Предположим, что страна является экспортером природного газа. При этом нам необходимо определить экономическую эффективность проекта строительства газодобывающего предприятия. Какова будет экономическая цена такого газа?

Если определяющим фактором является экспорт, то не финансовая цена, выплачиваемая производителю (газодобывающему предприятию), определяет ценность (альтернативную стоимость) этого газа, а те чистые выгоды, которые образуются в результате экспорта.

8.5. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Методы оценки инвестиционных проектов. Инвестиционные проекты обладают тремя основными особенностями.

1. Они, как правило, на первоначальном этапе связаны с большими затратами денежных средств, что может в долгосрочном плане сказаться на будущей прибыльности фирмы. Поэтому первоначальные денежные затраты должны быть обоснованы с точки зрения соотношения «затраты – поступления».

2. В течение срока инвестиционного проекта следует ожидать периодического притока денежных средств (за счет, например, увеличения доходов, экономии на текущих расходах денежных средств и т. д.). При этом часто приходится учитывать *временную ценность денег*.

3. При принятии решения по принципу «согласиться или отказаться» большую роль играет налог на доходы. В любом решении, связанном с планированием капиталовложений, необходимо учитывать налоговый фактор.

Существует несколько способов оценки инвестиционных проектов – по периоду окупаемости, по учетному

уровню дохода, по учетной норме прибыли, по чистой текущей ценности, по внутренней норме рентабельности, по индексу рентабельности.

Правила принятия решений

По периоду окупаемости ($T_{ок}$) – наименьший срок окупаемости.

По учетной норме прибыли (УНП) – наибольшая норма прибыли.

По чистой текущей ценности (ЧТЦ):

ЧТЦ положительное значение – ДА;

ЧТЦ отрицательное значение – НЕТ.

По внутренней норме рентабельности (ВНР):

ВНР превышает принятую ставку дисконта – ДА;

ВНР меньше принятой ставки дисконта – НЕТ.

По индексу рентабельности (ИР):

ИР больше единицы – ДА;

ИР меньше единицы – НЕТ.

Упрощенные методы оценки инвестиционных проектов. Период окупаемости $T_{ок}$ представляет собой отрезок времени, необходимый для возмещения первоначального объема инвестиций.

Пример 1.

Исходная ситуация.

Инвестиции – 18 000 дол. США.

Ежегодная сумма накопления денежных средств – 3000 дол. США в год.

Решение.

В данном случае

$$T_{ок} = \frac{\text{Стоимость инвестиций}}{\text{Ежегодные накопления денежных средств}} = \frac{18\,000 \text{ дол. США}}{3000 \text{ дол. США/год}} = 6 \text{ лет.}$$

Когда приток денежных средств происходит неравномерно, период окупаемости следует рассчитывать методом подбора значений.

Пример 2.*Исходная ситуация.*

Сравним два проекта, по которым поступление денежных средств после уплаты налогов происходит неравномерно.

Предположим, что инвестиционная стоимость каждого проекта составляет 1000 дол. США.

Приток денежных средств по проектам:

Год	Проект А, дол. США	Проект Б, дол. США
1	100	500
2	200	400
3	300	300
4	400	100
5	500	–
6	600	–

Решение. В данном случае период окупаемости по проектам – А = 4 года, Б = $2\frac{1}{3}$ года.

Правило принятия решений по $T_{ок}$ – принимая решение, выбирайте вариант с наименьшим сроком окупаемости проекта. Смысл этого в том, что чем меньше срок окупаемости, тем меньше риск и выше ликвидность.

Преимущества метода определения периода окупаемости при оценке инвестиционного проекта заключаются в том, что он прост в использовании и эффективно характеризует инвестиционный риск. Недостатки этого метода в том, что им не учитываются временная ценность денег и влияние денежных средств, поступающих после срока окупаемости, – приток денежных средств после срока окупаемости обуславливает прибыльность инвестирования проекта.

Учетная норма прибыли (УНП) определяется как соотношение необходимых инвестиций (или усредненных инвестиций) с будущей величиной чистой годовой прибыли.

Учетный уровень дохода (УУД) определяется как частное от деления суммы чистых доходов от реализации проекта на инвестиции по проекту.

Пример 3.*Исходная ситуация.*

На промышленном предприятии технические советники оценили, что вклады в энергосберегающие устройства позволят снизить энергопотребление на 100 т нефти в год. Стоимость таких инвестиций составляет 72320 дол. США со сроком эксплуатации оборудования 10 лет. Цена 1 т нефти – 128 дол. США.

Решение. В данном случае:

учетный уровень дохода – $(128 \text{ дол. США} / \text{т} \cdot 100 \text{ т/год} \cdot 10 \text{ лет}) / 72320 \text{ дол. США} = 1,77$;

учетная норма прибыли – $1,77 / 10 \text{ лет} = 0,177$ или ~18 % в год.

Пример 4.*Исходная ситуация.*

Первоначальные капиталовложения – 6500 дол. США.

Расчетный срок амортизации – 20 лет.

Годовая сумма поступлений денежных средств – 1000 дол. США.

Годовая сумма амортизационных отчислений (на базе равномерного начисления износа) – 325 дол. США.

Решение. В данном случае

УНП = $(1000 - 325) \text{ дол. США/год} / 6500 \text{ дол. США} = 0,104$ или 10,4 % в год.

Достоинствами этого метода являются простота расчетов и учет фактора прибыльности. Недостатки – невозможность учета показателя временной ценности денег и использование учетно-расчетных показателей вместо данных о потоках денежных средств.

Методы дисконтированного потока денежных средств. Текущая ценность (ТЦ) представляет собой оценку сегодняшней стоимости будущего дохода.

Понятно, что рубль или другая денежная единица, полученная завтра, не эквивалентна сегодняшней. Это связано не только с инфляцией. Следует учитывать упущенные возможности в получении дохода от использования средств в будущем.

В инвестиционном анализе обычно используется математический метод приведения денежных поступлений будущих периодов к настоящему (текущему) уровню, называемый *методом дисконтирования*.

Текущая ценность будущих поступлений устанавливается путем использования так называемой ставки дисконта – минимально потребной нормы прибыли, которую устанавливает для себя инвестор.

При определении ставки дисконта инвестор ориентируется на банковский процент по долгосрочным вкладам и предполагаемый уровень инфляции

$$r = a + i,$$

где a – банковский процент; i – уровень предполагаемой инфляции.

Кроме того, при определении ставки дисконта инвестор учитывает инвестиционный риск.

Когда поступление денежных средств происходит неравномерно, текущая ценность определяется по соотношению

$$ТЦ = \sum_{t=0}^n \frac{A_t}{(1+r)^t},$$

где t – порядковый номер года действия проекта, n – время реализации (срок амортизации) проекта, A_t – годовой объем поступлений денежных средств, r – ставка дисконта.

При равномерном поступлении денежных средств это соотношение может быть преобразовано к виду

$$ТЦ = \frac{A_t}{r} \left(1 - \frac{1}{(1+r)^n} \right).$$

Чистая текущая ценность (ЧТЦ) представляет собой превышение текущей ценности над суммой первоначальных инвестиций (И):

$$ЧТЦ = ТЦ - И.$$

Пример 5.

Исходная ситуация.

Первоначальные капиталовложения в проект, связанный, например, с модернизацией оборудования, – 3000 дол. США.

Расчетный срок амортизации – 2 года.

Годовая сумма поступлений денежных средств – 3000 дол. США в год.

Ставка дисконта – 12 %.

Решение. В данном случае

$$ТЦ = 3000 \left[1 / (1 + 0,12) + 1 / (1 + 0,12)^2 \right] = 5070 \text{ дол. США}$$

или для случая равномерного поступления денежных средств

$$ТЦ = 3000 / 0,12 \left[1 - 1 / (1 + 0,12)^2 \right] = 5070 \text{ дол. США};$$

$$ЧТЦ = 5070 - 3000 = 2070 \text{ дол. США}.$$

Достоинствами метода оценки по ЧТЦ является то, что им безоговорочно учитывается временная ценность денег.

Внутренняя норма рентабельности (ВНР) определяется как ставка дисконта, при которой величина И равняется величине ТЦ, т. е. ВНР определяется из условия

$$ТЦ - И = ЧТЦ = 0.$$

Пример 6.

Принимая условия примера 5, предполагаем, что первоначальные капиталовложения составили 5070 дол. США.

Решение.

$$ЧТЦ = ТЦ - И = 5070 - 5070 = 0 \text{ при } r = 12 \%, \text{ т.е. ВНР} = 12 \%.$$

Обычно ВНР проектов определяется методом подбора ставок дисконта или с помощью специальных таблиц для расчета текущей ценности денежной единицы. В то же время ВНР можно определить и графическим методом по пересечению кривой зависимости ЧТЦ от r с осью абсцисс (ставок дисконта).

Значение ВНР, при котором проект можно считать привлекательным, должно превышать принятую ставку дисконта.

Преимущество метода оценки по ВНР в том, что в нем учитывается временная ценность денег, поэтому он является более точным и реалистичным.

К числу недостатков данного метода относится то, что он требует значительного времени для проведения расчетов при неравномерности поступлений денежных средств. Кроме того, метод не учитывает изменение объемов инвестиций по конкурирующим проектам.

Индекс рентабельности (ИР) проекта есть отношение текущей ценности будущих денежных поступлений к величине первоначальных инвестиций:

$$\text{ИР} = \text{ТЦ} / \text{И}.$$

Пример 7.

Принимая условия примера 5, найти ИР.

Решение.

$$\text{ИР} = 5070 \text{ дол. США} / 3000 \text{ дол. США} = 1,6.$$

В данном случае проект можно считать привлекательным, так как $\text{ИР} > 1$.

Индекс рентабельности служит средством расположения проектов по рейтингу привлекательности в порядке убывания.

Инвестиционные решения в случае «взаимоисключающих» проектов. Проекты называются «взаимоисключающими», если принятие одного из них автоматически исключает принятие другого или других проектов. Противоречивый характер расположения проектов в порядке приоритетности проявляется, когда про-

- имеют различные расчетные сроки амортизации;
- имеют различные объемы инвестиций;
- характеризуются различной направленностью движения денежных средств с течением времени.

Пример 8.

Исходная ситуация.

Проект	Потоки денежных средств по годам (в % от инвестиций)				
	1	2	3	4	5
А	120	—	—	—	—
Б	—	—	140	—	—
В	—	—	—	—	200

Как видно из исходных условий, данные проекты имеют все перечисленные выше признаки «противоречивости». Определим порядок их приоритетности по критериям периода окупаемости, учетного уровня дохода и внутренней нормы рентабельности (соответственно для проектов А, Б, В – 20, 12 и 15 %).

В данном случае

Критерий оценки проекта	Рейтинги проектов		
	А	Б	В
Т _{ок}	1	2	3
УУД	3	2	1
ВНР	1	3	2

В соответствии с принятыми критериями оценки (не зависящими от ставки дисконта – стоимости капитала) рассматриваемые проекты имеют различные рейтинги. В этом случае для принятия обоснованного решения необходимо оперировать понятиями чистой выгоды инвестора, т.е. чистой текущей стоимости капитала.

Построим график, который называется профилем ЧТЦ (рис. 8.9).

Согласно ЧТЦ, при ставке дисконта меньше 6 % проекты располагаются в следующем порядке предпочтительности: В, Б, А. При значениях ставки дисконта, больших 7 % и меньших 12 %, проекты располагаются в следующем порядке предпочтительности: В, А, Б. При значениях ставки дисконта, больших 12 % и меньших 14 %, проекты располагаются в следующем порядке предпочтительности: В, А (проект Б не рассматривается). При значениях ставки дисконта, больших чем 14 %, проект А имеет большее, чем проект В, значение ЧТЦ. Поэтому выбирать следует проект А.

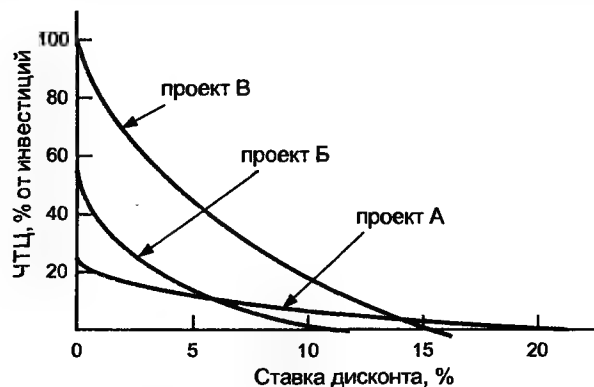


Рис. 8.9. Зависимость ЧТЦ от ставки дисконта

В общем случае правильное решение будет заключаться в выборе проекта с наибольшим значением ЧТЦ, поскольку при методе оценки по ЧТЦ предполагается более реалистичная норма реинвестирования.

В то же время следует считаться с тем, что по долгосрочным проектам и проектам с высокими доходами возрастают риски, связанные с изменениями условий реализации проектов.

8.6. «НЕЭКОНОМИЧЕСКИЕ» МЕТОДЫ ПРОЕКТНОГО АНАЛИЗА

Общие положения. Термин «неэкономические» поставлен в кавычки, поскольку любой аспект анализа так или иначе затрагивает финансово-экономические вопросы.

К неэкономическим методам проектного анализа мы будем относить:

- технический анализ;
- социальный анализ;
- экологический анализ;
- институционально-организационный анализ.

Технический анализ проекта. Основной целью технического анализа является обоснование технологической и технической возможности реализации проекта – доступность технологий и оборудования, необходимых для производства продукции проекта, возможность их освоения и эффективной эксплуатации в конкретных условиях.

Технический анализ обычно представляется в начале проектных документов.

В процессе его проведения изучаются технико-технологические альтернативы, варианты местонахождения предприятия, сроки реализации проекта, технологическая доступность сырья и т. д. (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Последовательность проведения
и содержание технического анализа проекта

Анализируемый фактор	Состав анализируемого фактора
1	2
1. Местоположение предприятия и вспомогательных производств	1.1. Наличие источников исходного сырья, энергии, воды, средств связи, близость к рынкам сбыта продукции 1.2. Степень развития инфраструктуры района (наличие транспортных магистралей, социальных объектов и т. д.) 1.3. Обеспеченность района квалифицированной и неквалифицированной рабочей силой, управленческими кадрами
2. Масштаб и сроки осуществления проекта	2.1. Масштаб проекта (объемы производства продукции по номенклатуре) 2.2. Сроки осуществления проекта
3. Технологические процессы	3.1. Используемые технологические процессы 3.2. Соответствие оборудования условиям производства и особенностям района 3.3. Возможности реконструкции и модернизации действующего предприятия 3.4. Варианты приобретения оборудования у отечественных и зарубежных производителей (поставщиков), а также аренды (лизинга)

Окончание табл. 8.3

1	2
4. Разработка вариантов проекта	4.1. Предварительные варианты проекта 4.2. Результаты экспертной оценки технических средств и технологии, предусмотренных проектом
5. Проектная схема	5.1. Схема размещения объектов основного и вспомогательного производств 5.2. Схема размещения объектов производственной и социальной инфраструктуры 5.3. Организация транспортировки продукции 5.4 Организация системы коммуникаций 5.5. Возможность расширения предприятия
6. Смета расходов	6.1. Смета расходов на приобретение и доставку оборудования 6.2. Смета расходов на строительные и монтажные работы 6.3. Смета расходов на приобретение материалов, топлива и прочих оборотных средств 6.4. Смета расходов на подготовку кадров
7. График реализации проекта	7.1. Организация процесса размещения заказов и заключения контрактов с производителями или поставщиками ресурсов 7.2. Календарный план строительной фазы проекта 7.3. Календарный план подготовительного периода, включающий графики поступления оборудования и его монтажа, а также графики формирования оборотных средств

Технический анализ проводится на протяжении всего жизненного цикла проекта с учетом общих задач, решаемых на каждом из его этапов.

Социальный анализ проекта. Задачей социального анализа является определение пригодности предлагаемых вариантов проекта с точки зрения интересов населения территории (так называемой «целевой» группы) и социальной группы, на которую он воздействует своей

продукцией. Особое требование – рассмотрение и учет интересов групп населения, наиболее чувствительных к переменам, вносимым проектом.

В результате проведения социального анализа в проекте намечается такая стратегия его осуществления, которая в идеале пользовалась бы поддержкой местного населения и той социальной группы, на которую он влияет. Кроме того, проект должен быть принят (или хотя бы «не замечен») широкой общественностью, особенно по природоохранным соображениям.

Социальный анализ должен проводиться совместно с другими видами проектного анализа.

В результате социального анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов.

- ♦ Приемлем ли проект в социальном и культурном отношении в местных условиях?
- ♦ Каковы позитивные и негативные социальные и культурные последствия реализации проекта?
- ♦ Каковы количественные оценки связанных с этими последствиями затрат и выгод?

При проведении социального анализа могут быть использованы следующие группы социальных индикаторов.

♦ *Демографические показатели:*

- численность населения;
- уровень урбанизации;
- возрастные и этнические пропорции;
- соотношение полов по возрастным группам;
- состав семей.

♦ *Показатели занятости:*

- наличие вакансий по разным профессиональным группам;
- предложение рабочей силы, удельный вес женщин в рабочей силе;
- текучесть кадров по профессиональным группам.

♦ *Социальная структура:*

- образовательная структура;
- профессиональная структура.

♦ *Общественная жизнь:*

- наличие общественных организаций (деловых, профессиональных, этнических, политических и др.), участие населения в этих организациях;

- количество людей, выдвигаемых на выборные должности;

- общественные проблемы, поднятые локальными средствами массовой коммуникации;

- программы (количество, масштаб), инициированные общественными организациями.

♦ *Жилищные условия, здравоохранение, охрана порядка, транспорт.*

Оценка социальных последствий проекта должна сопровождаться экономической оценкой минимизации возможных его негативных воздействий на различные социальные группы.

Вместе с тем реализация любого проекта (и тем более связанного с развитием энергетических источников) вызывает определенное изменение ситуации в политической, экономической или социальной сферах. Это изменение может быть выгодно одним социальным группам и невыгодно (или даже вредно) другим. В связи с этим окончательное экспертное заключение должно учитывать баланс интересов не только отдельных социальных групп, но и общества в целом.

Экологический анализ проекта. Задача экологического управления проектом заключается в установлении баланса между потребностью людей в природных ресурсах и способностью окружающей среды удовлетворять эти потребности.

В результате экологического анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов.

- ♦ Каковы позитивные и негативные факторы воздействия на природу и людей, ожидаемые в результате реализации проекта?

- ♦ Каковы количественные оценки такого воздействия, возможности сокращения негативных последствий и связанные с этим затраты и выгоды?

- ♦ Каковы возможные экологические последствия реализации проекта, не поддающиеся количественной оценке?

Основной задачей экологического анализа является установление потенциального ущерба окружающей среде во время осуществления проекта и определения мер, необходимых для его предотвращения или смягчения (рис. 8.10).



Рис. 8.10. Оценка воздействия проекта на окружающую среду

Для природоохранных мероприятий превентивные меры гораздо важнее и практически всегда дешевле, чем исправление нанесенного ущерба.

Затраты на модификацию проекта с целью приведения его в соответствие с действующими экологическими кри-

териями следует рассматривать как необходимые. Для повышения эффективности проекта экологические проблемы должны быть отражены в проектной документации на самой ранней стадии. Эта документация должна описывать экологические риски и возможности их снижения за счет соответствующего плана действий.

Проведение стандартного анализа экологической эффективности проектов часто бывает затруднено в связи с тем, что экологические затраты и выгоды, обнаруживающиеся в течение сравнительно длительного времени, достаточно трудно измерить и предсказать. Природная среда не только является источником определенных ресурсов, но и оказывает определенные «экологические услуги». Такие, например, как восстановление почв, разложение загрязняющих веществ, рециркуляция отходов, поддержание характера течения рек и т. д. Этим природным функциям часто уделяется недостаточное внимание, и их значимость недооценивается в силу того, что они являются общественными товарами, не имеющими цены на рынке.

Если масштабы и тип экологических изменений могут быть предсказаны, существующая система рынков и цен может дать более или менее однозначную оценку денежной ценности некоторых последствий этих изменений. Значительно труднее оценить последствия таких загрязнений для здоровья человека. Стоимость некоторых последствий можно определить с помощью статистического материала органов здравоохранения путем расчетов затрат на вынужденное переселение людей и т. д.

Если затраты и выгоды невозможно установить количественно, следует последствия альтернативных решений оценить качественно. Качественный анализ, как и количественный, должен показать разницу между ситуациями «с проектом» и «без проекта», а также различие между альтернативными вариантами.

Институционально-организационный анализ. Институционально-организационный или просто институциональный анализ инвестиционных проектов имеет своей целью оценку организационной, правовой, политической

и административной обстановки, в рамках которой проекты реализуются и эксплуатируются.

В результате институционального анализа ожидается получить ответы на ряд вопросов.

♦ Имеются ли необходимые для реализации проекта соответствующие организационные структуры и правовая среда?

♦ Имеется ли инфраструктура, необходимая для реализации и эксплуатации проекта?

♦ Какова вероятность реализуемости проекта в заданные сроки и с какими рисками сопряжен проект?

Активная форма выработки рекомендаций в отношении мероприятий по укреплению возможностей организаций (предприятий-реципиентов), реализующих проект предполагает рассмотрение:

- методов и способов производственного менеджмента;
- организационной структуры, возможных изменений в ней;
- планирования, в том числе планирования инвестиций;
- вопросов комплектования и обучения персонала;
- финансовой деятельности, в том числе финансового менеджмента, бухгалтерского учета и аудита;
- материально-технического обеспечения проектов.

В целом в предынвестиционной фазе проекта в институциональный анализ обычно входит решение следующих задач:

• описание институциональных условий (организационных структур, правового пространства и политических факторов), в рамках которых будет реализовываться рассматриваемый проект;

• оценка слабых и сильных сторон участвующих в проекте организаций в отношении их материальных и человеческих ресурсов, технической квалификации, организационной структуры, управленческих и административных возможностей, финансового положения и т. д.;

• оценка возможного влияния правового пространства и политических факторов на осуществление и эксплуата-

цию проектов, особенно имеющих отношение к защите окружающей среды, заработной плате, ценам, субсидиям, внешней торговле, валютному курсу и т. п.;

- выдвижение альтернативных способов устранения слабостей, выявленных у участвующих в проекте организаций.

Особо следует остановиться на двух аспектах управления проектом:

- методиках координации работ;
- мероприятиях для совершенствования управления проектом.

Одним из способов преодоления организационных проблем, присущих достаточно крупным проектам, является их упрощение путем выделения видов деятельности, являющихся основными для достижения главной цели проекта, и сосредоточения на них ограниченных организационных ресурсов ценой отнесения на будущее желательных, но трудноосуществимых или второстепенных задач.

Аналогичный подход следует применять и в отношении требований к координации работ различных исполнителей по проекту, так как она может занять много времени, но не дать ожидаемых результатов. Кроме того, следует предусмотреть систему стимулирования взаимодействия между сотрудниками проекта и реализующими проект организациями. Создание, например, небольших рабочих групп из тех, кто контролирует не первостепенные, но важные ресурсы (к примеру, транспортные средства), может оказаться более продуктивным механизмом координации, нежели создание, например, координационного комитета, состоящего из руководящего персонала.

Институциональные проблемы эксплуатационной фазы проекта зачастую связаны с тем, что внимание принимающих решения лиц больше концентрируется на фазе капиталовложений, чем на последующих фазах эксплуатации и текущего обслуживания завершенного проекта. Одним из аспектов пренебрежения к эксплуатации проекта является слишком незначительное внимание, уделяемое расходам и выгодам, связанным с техническим обслу-

живанием, сохранением и реконструкцией или усовершенствованием основных фондов и, соответственно, снижением выгод от проекта.

8.7. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

Системный подход к энергетическому планированию. Энергетическое планирование включает в себя:

- собственно процесс планирования, т. е. систематический сбор и анализ информации относительно «спроса/предложения» энергии;
- составление плана развития энергетических источников.

Основная концепция энергетического планирования – обеспечение аналитической информацией лиц, принимающих решения на различных уровнях ответственности.

Системный подход к энергетическому планированию включает следующую последовательность основных шагов:

- определение частных и более общих целей плана;
- определение подхода, который следует принять;
- сбор и идентификацию исходной информации, требуемой для процесса планирования;
- выбор метода анализа;
- проведение интегрированного анализа;
- предварительное составление плана развития энергетических источников;
- реформирование информации для лиц, принимающих решение;
- составление плана развития энергетических источников.

Следует помнить, что последовательность типичных задач энергетического планирования (рис. 8.11) представляет собой часть динамического процесса планирования, т. е. каждый последовательный шаг может выполняться несколько раз перед переходом к следующему.

Базисные цели энергетического планирования:

- подготовить программу капиталовложений для своевременного развития энергетических источников;
- разработать элементы (механизмы) целевого управления энергосистемой;



Рис. 8.11. Типичная последовательность задач энергетического планирования

- подготовить для широкого распространения информацию относительно «спроса/предложения» энергии в будущем.

Подготовка программы капиталовложений – одна из основных частей энергетического планирования, так как позволяет оптимальным образом мобилизовать финансовые и человеческие ресурсы для выполнения определенной цели по созданию энергетических источников. В рамках государственного управления экономикой программа капиталовложений – правительственная программа с указанием конкретных объектов ее приложения. В рамках рыночного механизма управления экономикой энергетические компании разрабатывают собственные программы капиталовложений, мозаика которых составляет общий план капиталовложений в развитие энергетических источников.

Разработка элементов целевого управления – сводка соответствующих «правил игры» (стимулов, санкций) для всех участвующих в реализации энергетических проектов сторон, включая законодательную и нормативную базы развития энергетических источников. Один из важнейших элементов стратегии – тарификация энергопользования.

Информация относительно «спроса/предложения» энергии в будущем – возможность психологической и тех-

нической перестройки предприятий энергетики и энергопотребителей в связи с будущими структурными изменениями.

Более широкие цели энергетического планирования:

- развитие системы снабжения энергией, которое приводит к наиболее низкой ее себестоимости для потребителей;
- максимальная надежность и безопасность энергетических источников;
- разнообразие энергетических источников и гибкость энергосистем с меньшей зависимостью от дефицитных первичных энергоресурсов и максимальным использованием возобновляемых энергоресурсов;
- минимизация последствий для окружающей среды.

Определение подхода к энергетическому планированию включает решения относительно:

- масштаба плана (национальный, региональный, местный);
- временного интервала плана и уровня его подробности (в соответствии с временным интервалом).

Национальный масштаб плана обеспечивает перспективу развития энергетических источников для страны в целом.

Региональный и местный масштабы плана (включая и планы энергетического развития отдельных предприятий) учитывают специфические особенности конкретного региона и отдельных производств и могут иметь свои (отличные от национальных) приоритеты.

Временной интервал планирования – важный элемент подхода к планированию, и, в частности, определению уровня подробности плана, а соответственно, выбору метода анализа информации. Действительно, невозможно применить одну и ту же процедуру анализа для ежедневных и долгосрочных решений. В то же время лица, принимающие решения, должны понимать ограниченность выводов подобного анализа и не переносить их на длительный период. Вместе с тем даже краткосрочные решения должны согласовываться с общей стратегией развития энергетических источников.

Информационная база энергетического планирования. Информация, требуемая для процесса планирования, включает в себя:

- детализированную техническую информацию;
- информацию для принятия решения.

Детализированная техническая информация требуется специалистам (инженерам, экономистам и т. д.) для оценки технической и экономической жизнеспособности различных вариантов плана (различных энергетических проектов) и включает в себя характеристики энергетической эффективности, технической целесообразности и оптимальности принимаемых решений.

В процессе формирования исходной информационной базы возникает необходимость определения *базисного года* как исходной точки процесса энергетического планирования (и, в частности, энергетического планирования).

Базисный год должен удовлетворять ряду требований, основными из которых являются:

- необходимый для соответствующего уровня планирования объем информации;
- достоверность информации;
- близость (насколько это возможно) к текущему году и его «нормальность».

Последние требования связаны с необходимостью наиболее точно отражать, во-первых, существующую энергетическую ситуацию и, во-вторых, тенденцию ее развития.

Безусловно, всегда трудно найти год, который является «нормальным» в энергопользовании, т. е. год, в котором отсутствовали бы:

- кризисные явления; чрезвычайные ситуации;
- ошибки управления (в том числе и в производственной сфере);
- неблагоприятные (или благоприятные) климатические условия и т. п.

Поэтому лучше всего в качестве базисного года принимать осреднение статистической информации по несколь-

ким годам, чтобы реальнее отразить существующую ситуацию по «запросу энергии».

Информация для принятия решений отличается от детализированной технической информации. Тем, кто готовит подобную информацию, следует помнить, что лица, принимающие решения на соответствующем уровне ответственности, как правило, не ориентируются в технических деталях проектов. Более того, слишком подробная техническая информация может затруднить принятие оптимального решения (или даже привести к неверным решениям) и в этом смысле является «некачественной».

«Качественная» информация для принятия решений должна отвечать на следующие вопросы.

- ♦ Сколько энергоресурсов требуется для экономического развития в рамках принятого временного интервала?
- ♦ Какие виды энергоресурсов могут быть активизированы?
- ♦ Какие финансовые и материальные ресурсы требуются для развития энергетических источников?
- ♦ Какой вариант развития является наиболее доступным и каковы воздействия различных вариантов?

Интегрированный анализ в энергетическом планировании. Общая схема проведения интегрированного анализа в рамках энергетического планирования включает в себя:

- выбор метода анализа;
- собственно анализ;
- оценку результатов анализа.

Выбор метода анализа предполагает:

- выбор вида и содержания метода анализа в соответствии с объектом и целями энергетического планирования;
- выбор процедуры экстраполяции (предсказания) будущей ситуации на основе анализа сегодняшней ситуации.

Достоверность предсказаний определяется достоверностью не только исходной базы данных, но и самой процедуры экстраполяции. Соответственно появляется требование использования апробированных методов анализа или проверки их достоверности путем предсказания на ос-

нове данных о предыдущих годах. В этом случае к информационной базе предшествующих лет предъявляются те же требования, что и к основной информационной базе.

Итерационная процедура проведения интегрированного анализа предполагает:

- составление баланса «спроса/предложения» энергии;
- оценку воздействия;
- «выбор среди вариантов».

Важным элементом сравнительного анализа различных вариантов энергетического развития является оценка стоимостных показателей производства и потребления энергии, включая планируемые тарифы энергопользования и планируемую себестоимость энергии.

План энергетического развития промышленного предприятия. Рассмотрим последовательность шагов энергетического планирования применительно к процедуре составления энергетического плана промышленного предприятия (рис. 8.12).

В основе составления энергетического плана промышленного предприятия лежит взаимосвязанная процедура формирования сбалансированной связки «запрос/предложение» энергии.

«Запрос энергии» формируется в рамках предварительного составления плана технологического развития предприятия и соответствующего роста потребностей в ТЭР.

Возможные пути развития предприятия связаны прежде всего с конкретным инвестиционным решением «на расширение» или «на обновление». Безусловно, возможна и комбинация этих решений.

Специфика конкретного решения относительно пути развития предприятия определяет и последовательность шагов интегрированного анализа возможных (технически обоснованных) технологических решений. При этом исходная информационная база для анализа и принятия окончательных вариантов должна формироваться на основе результатов предварительного энергетического и технологического обследования предприятия с составлением плана

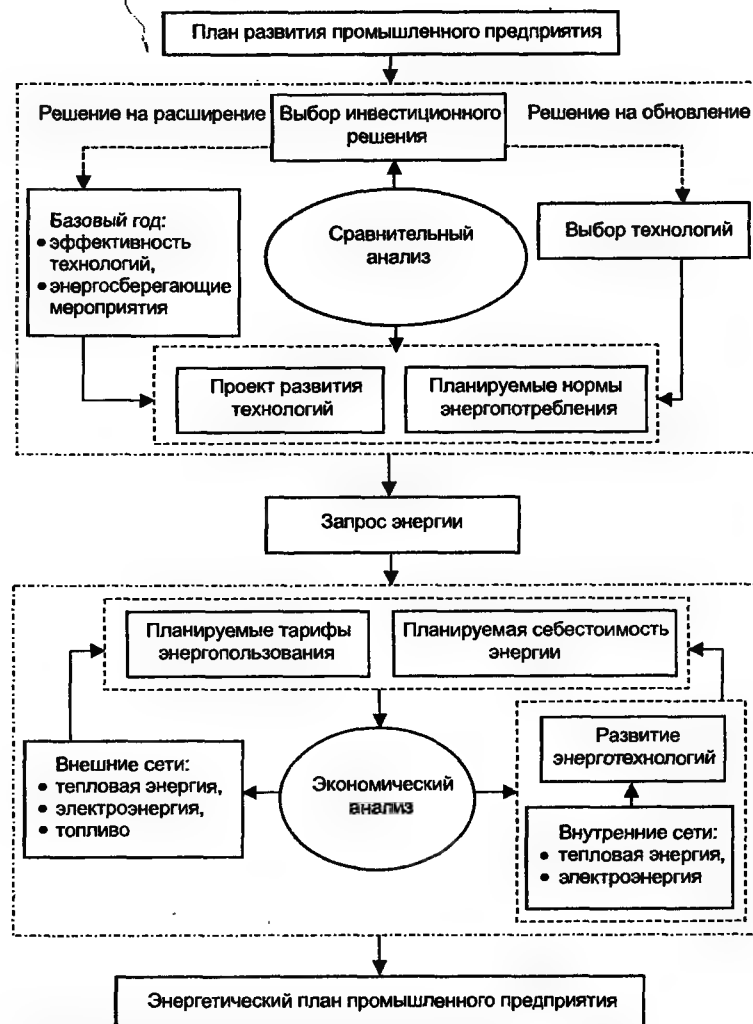


Рис. 8.12. Схема составления энергетического плана промышленного предприятия

организационно-технических мероприятий по повышению эффективности (энергетической, экономической) производства. Последующие шаги по составлению плана разви-

тия предприятия должны базироваться на результатах проведенного аудита и согласовываться, как было указано выше, с принятым инвестиционным решением.

При принятии, например, «решения на расширение» проводится анализ показателей эффективности технологий в «базовом» году. Проект развития технологий, включая планируемые нормы энергопотребления, составляется с учетом этого анализа и рекомендаций плана ОТМ по экономии потребления ТЭР. В качестве «альтернативного» инвестиционного решения можно рассматривать «решение на обновление», т. е. решение на внедрение новых технологий и технологического оборудования. В этом случае базовая технология выбирается из «каталога» (информационного банка данных) рекомендованных отраслевых технологий и оборудования, составляемого на основе анализа отечественного и зарубежного опыта.

В рамках действующего производства, как правило, принимаются смешанные проектные инвестиционные решения о капиталовложениях, которые включают элементы как «решения на расширение», так и «решения на обновление». В любом случае процедура составления плана технологического развития предприятия предполагает итерационный процесс приближения к оптимальности через сравнительный анализ различных вариантов.

Критерием оптимальности плана развития предприятия является достижение энергоэффективности новых или модернизируемых технологий, т. е. достижение минимально разумного «запроса энергии», необходимого для производства продукта установленного качества.

Сформированный «запрос энергии» должен быть удовлетворен в рамках энергетического плана развития предприятия с использованием разумных (экономически обоснованных) капитальных вложений.

Составление плана энергетического развития промышленного предприятия включает все последовательные шаги энергетического планирования по подготовке «качественной» информации для принятия решений относительно оптимального (рационального) обеспечения требуемыми энергоресурсами.

Промышленное предприятие имеет два основных варианта удовлетворения планируемых потребностей в ТЭР:

- расширение заимствования из внешних энергетических сетей;
- развитие внутренних энергетических сетей.

Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки. Выбор одного из них или их комбинации определяется как экономическими показателями (включая и показатели энергетической безопасности), так и:

- масштабом предполагаемых преобразований производства и временным интервалом их реализации;
- видом требуемого энергетического ресурса;
- техническими и финансовыми возможностями предприятия.

Наиболее реалистичным (хотя, возможно, и не самым экономичным) является вариант расширения заимствования из внешних энергетических сетей. При принятии данного варианта проводится, тем не менее, анализ возможностей поставки внешними сетями дополнительного количества энергоресурсов требуемого качества, тенденций к изменению тарифов энергопользования и соответствующей доли энергетической составляющей в себестоимости продукции.

Если экономические показатели требуемых энергоресурсов из внешних сетей или их потребительские качества не удовлетворительны, то может быть принято решение на развитие внутренних энергетических сетей. В этом случае (как и при составлении плана технологического развития основного производства) рассматриваются инвестиционные решения на расширение или обновление энерготехнологий.

Возможен также вариант комбинации решений – расширение заимствования из внешних энергетических сетей и развитие внутренних энергетических сетей – с проведением их сравнительного анализа по планируемой себестоимости энергии.

Комплексный анализ путей возможного энергетического развития промышленного предприятия предполагает не только итерационный процесс приближения к опти-

мальному решению в рамках проектов технологического и энерготехнологического развития предприятия, но и согласование на каждом из этапов планирования связи «запрос/предложение» энергии.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие бывают типы инвестиционных проектов?
2. Приведите классификацию проектных решений.
3. Что такое бизнес-план проекта?
4. Дайте определение проектных рисков.
5. Как проводится анализ проектных рисков?
6. Какие способы снижения инвестиционных рисков вы знаете?
7. Перечислите методы оценки инвестиционных проектов (перечень, правила принятия решений).
8. Какие методы оценки инвестиционной стоимости проектов относятся к упрощенным методам?
9. Какие методы оценки инвестиционной стоимости проектов называются методами дисконтированного потока денежных средств?
10. Как принимаются инвестиционные решения в случае «взаимоисключающих» проектов?
11. Какова последовательность задач энергетического планирования?
12. Какие требования предъявляются к формированию информационной базы и базисному году?
13. Какова последовательность шагов составления энергетического плана промышленного предприятия?

ГЛАВА 9

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

9.1. КООРДИНАЦИЯ РАБОТ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В рамках государственной и переходной экономики основная роль в организации энергосбережения и энергоэффективности принадлежит государственным структурам управления. К основным задачам подобных структур (например, Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Беларуси) можно отнести:

- проведение государственной политики в сфере энергосбережения и регулирование деятельности, направленной на эффективное использование и экономию топливно-энергетических ресурсов в народном хозяйстве республики;
- осуществление государственного надзора за рациональным использованием топлива, электрической и тепловой энергии объединениями, предприятиями, учреждениями и организациями *независимо от их форм собственности и подчиненности.*

В соответствии с этими задачами государство:

- способствует созданию экономических условий для повышения заинтересованности юридических и физических лиц в энергосбережении;
- организует, разрабатывает и осуществляет мероприятия по экономии и рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов, включая проведение работ по развитию нетрадиционных источников энергии, вторичных энергоресурсов и местных видов ТЭР в целях замещения импортируемых;
- разрабатывает и вносит в установленном порядке в Правительство предложения по повышению энергоэффективности народного хозяйства страны;
- способствует определению основных показателей по энергосбережению для отраслей и регионов;

- организует разработку и реализацию государственных научно-технических программ по энергосбережению, согласовывает и контролирует соответствующие отраслевые и региональные программы.

Важнейшей задачей государственных структур управления энергосбережением является также государственный надзор за рациональным использованием ТЭР, который осуществляется в отношении объединений, предприятий, учреждений и организаций. Государственный надзор осуществляется также за реализацией потребителями мер по экономии ТЭР и соблюдением норм расхода электрической и тепловой энергии, котельно-печного топлива.

Одной из форм координации межведомственной деятельности в области энергосбережения является *Координационная программа* (рис. 9.1) и *Межведомственный Координационный совет*, к основным направлениям деятельности которого можно отнести:

- подготовку предложений по разработке и осуществлению мер, обеспечивающих повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов;
- содействие проведению энергосберегающей политики в стране.

В соответствии с этими задачами Координационный совет:

- разрабатывает предложения о приоритетных направлениях проведения научных исследований и применения прикладных разработок в области энергосбережения;
- дает рекомендации по внедрению энергоэффективных оборудования, технологий и материалов;
- разрабатывает предложения по вовлечению в топливный баланс местных топливных ресурсов, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- рассматривает проекты концепций и программ в области энергосбережения, использования местных топливных ресурсов, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- дает заключения о целесообразности использования энергоемких оборудования и технологий и выпуске энергоемкой продукции в республике;



Рис. 9.1. Организационная структура и функциональное назначение Координационной программы

- содействует популяризации преимуществ энергосбережения, использования новых видов энергии и топлива;
- участвует в организации конференций, семинаров и совещаний по вопросам, входящим в компетенцию Совета;
- содействует организации подготовки кадров и повышения квалификации специалистов в области энергосбережения.

Аналитические функции Координационной программы реализуются через аналитическую группу при Координационном межведомственном совете в виде аналитического сопровождения Программы и включают:

- формирование программы;
- разработку приоритетных направлений ее реализации;
- анализ запроса технологий и оборудования.

Информационные функции Координационной программы реализуются в виде:

- текста Программы и приложений;
- информационного банка научных разработок, технологий и оборудования.

Основной целью Программы является координация и информационно-аналитическая поддержка работ в области энергосбережения, а также выделение приоритетных направлений по созданию и внедрению основ энергоэффективных технологий и оборудования.

♦ Проведение системного анализа с использованием макроэкономических показателей и разработка прогнозных моделей энергообеспечения страны.

♦ Разработка концепции многофункциональной экосистемы, решающей на региональном уровне проблемы питания, энергии и экологии (в том числе на базе целенаправленного выращивания биомассы и замкнутого цикла ее переработки).

♦ Совершенствование технологических процессов и оборудования по отраслям экономики, включая:

- *энергетику* – процессы горения, парогазовые циклы и циклы, используемые в малой энергетике, теплоснабжение;
- *промышленность* – литейное и термическое производство, механообработка и штамповка, гальванопокрытие и окрасочно-сушильное производство;
- *сельское хозяйство* – сушка, хранение и переработка сельскохозяйственной продукции;
- *строительство* – производство новых теплоизоляционных и конструкционных материалов;
- *транспорт* – аккумулялирование энергии.

♦ Создание основ технологий использования местных топливных ресурсов, включая переработку, сжигание и газификацию древесины и твердых топлив (торф, лигнин, бурые угли, сланцы).

♦ Разработка энергоэффективных технологий для реализации потенциала возобновляемых и нетрадиционных источников энергии и, в частности, для выработки электрической и тепловой энергии на базе гелио-, ветро- и гидроустановок, а также использования городских, сельскохозяйственных и животноводческих отходов и сточных вод.

♦ Создание энергосберегающих технологий на базе высокоэффективных теплообменных аппаратов, способных утилизировать теплоту уходящих газов промышленных производств.

♦ Совершенствование термодинамических циклов тепловых насосов, вихревых труб, холодильных и нагревательных устройств на базе применения новых (озонобезопасных) рабочих агентов.

♦ Разработка информационно-аналитических систем на базе программных средств управления и автоматизации процессов производства, транспорта и потребления энергии.

9.2. ПРАВОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Закон об энергосбережении. Основой государственного регулирования отношений, возникающих в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения, является закон об энергосбережении, например *Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении»* и связанный с ним пакет нормативно-правовых актов (рис. 9.2).

В преамбуле данного Закона говорится, что энергосбережение является приоритетом государственной политики в решении энергетических проблем страны и в организации энергоэффективности на предприятиях различных форм собственности.

В Законе дается определение понятия энергосбережения как организационной, научной, практической, информационной деятельности государственных органов, юридических и физических лиц, направленной на снижение расхода (потерь) топливно-энергетических ресурсов в

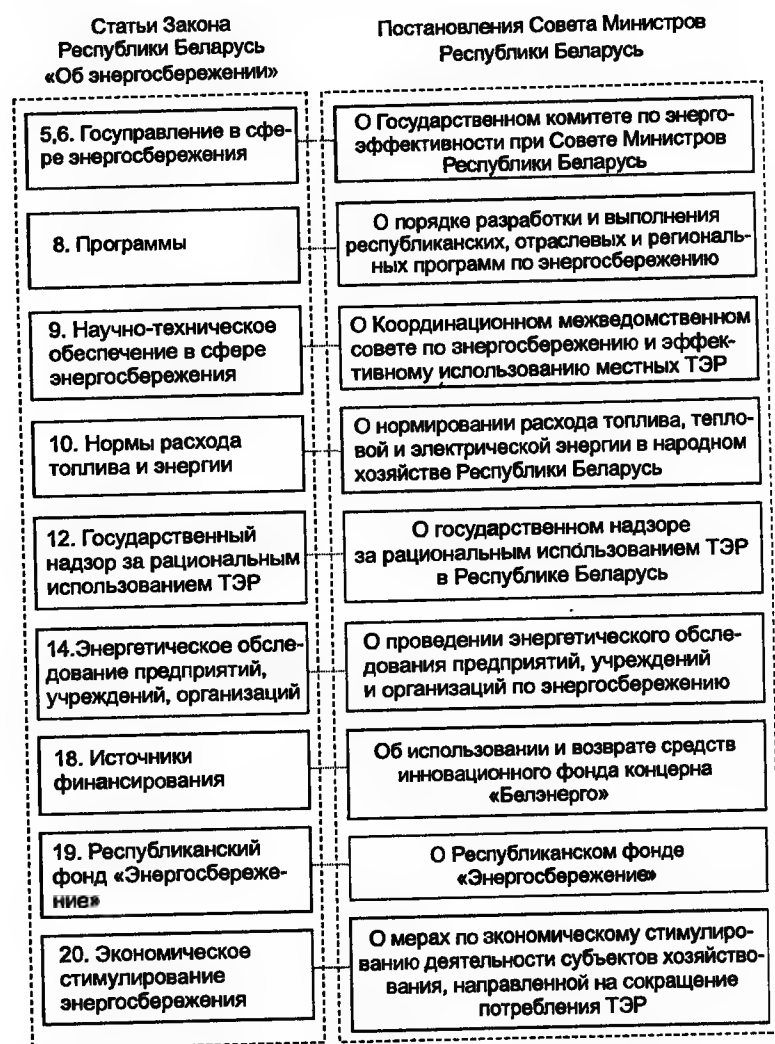


Рис. 9.2. Диаграмма нормативно-правовых актов в области энергосбережения в Республике Беларусь

процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации. Определено, что субъектами отношений в сфере энергосбе-

режения являются юридические и физические лица (пользователи и производители топливно-энергетических ресурсов), осуществляющие следующие виды деятельности:

- добычу, переработку, транспортировку, хранение, производство, использование и утилизацию всех видов топливно-энергетических ресурсов;
- производство и поставку энергогенерирующих и энергопотребляющих оборудования, машин, механизмов, материалов, а также приборов учета, контроля и регулирования расхода топливно-энергетических ресурсов;
- проведение научно-исследовательских, опытно-конструкторских, опытно-технологических, экспертных, специализированных, монтажных, наладочных, ремонтных и других видов работ (услуг), связанных с повышением эффективности использования и экономии топливно-энергетических ресурсов;
- реализацию мероприятий, связанных с развитием и применением нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, использованием вторичных энергетических ресурсов;
- информационное обеспечение юридических и физических лиц, подготовку кадров для сферы энергосбережения;
- разработку и внедрение эффективных систем управления энергосбережением и средств контроля за эффективным использованием топливно-энергетических ресурсов.

В соответствии с Законом государственное управление в сфере энергосбережения осуществляет Правительство и уполномоченный им республиканский орган.

Основными элементами механизма государственного управления энергосбережением являются:

- обязательный учет всего объема добываемых, производимых, перерабатываемых, транспортируемых и потребляемых топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- разработка и установление для всех министерств и ведомств показателей энергоэффективности на основании макроэкономических показателей развития отраслей народного хозяйства;

- нормирование (текущее и перспективное) расхода топлива и энергии для технологических процессов, установок, оборудования и т. д.;
- стандартизация, сертификация и метрология в сфере энергосбережения;
- государственный надзор за рациональным использованием ТЭР;
- энергетическое обследование предприятий, учреждений и организаций в целях оценки эффективности использования ТЭР и обеспечения их экономии;
- государственная экспертиза энергетической эффективности проектных решений;
- разработка и реализация республиканских, отраслевых и региональных программ энергосбережения.

Закон устанавливает средства экономического стимулирования энергосбережения, включая льготы в виде субсидий, дотаций в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь пользователям и производителям топливно-энергетических ресурсов, осуществляющим мероприятия по энергосбережению.

Закон определяет основные направления международного сотрудничества в сфере энергосбережения:

- участие Республики Беларусь в реализации международных проектов в области энергосбережения;
- приведение показателей энергоэффективности, предусмотренных нормативными документами по стандартизации Республики Беларусь, в соответствие с требованиями международных стандартов.

Государственный надзор за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов. В качестве главной задачи органов государственного надзора за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов предусмотрено обеспечение соблюдения требований законодательства в части рационального использования топлива, электрической и тепловой энергии. Органы государственного надзора за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов в соответствии с их главной задачей:

- анализируют проводимую потребителями работу по экономии топливно-энергетических ресурсов, вносят в установленном порядке предложения по улучшению этой работы, а также осуществляют меры по распространению соответствующего положительного опыта;
- принимают участие в разработке отраслевых, областных и минской городской программ по энергосбережению, осуществляют контроль за их выполнением;
- вносят предложения в местные исполнительные и распорядительные органы по повышению эффективности использования потребителями топливно-энергетических ресурсов, оказывают этим органам методическую помощь;
- согласовывают в установленном порядке нормы расхода электрической и тепловой энергии, котельно-печного топлива;
- осуществляют контроль за проведением работ по оснащению потребителей приборами учета и регулирования расхода газа, других видов котельно-печного топлива, воды и тепловой энергии;
- осуществляют контроль за своевременностью утверждения в установленном порядке норм расхода электрической и тепловой энергии, котельно-печного топлива и их соблюдением.

Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» устанавливает ответственность за нарушение законодательства об энергосбережении. Кроме того, Президентом Республики Беларусь 31 декабря 1995 г. подписан Закон «О внесении дополнений и изменений в Кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях», который устанавливает ответственность за нарушение правил, регламентирующих рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ст. 91) и за нерациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ст. 92). Эти статьи предусматривают наложение штрафов на должностных лиц, допустивших указанные нарушения, в размере от трех до пятнадцати и от трех до двадцати минимальных заработных плат соответственно.

9.3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Формы финансирования энергосберегающих мероприятий. Основные формы финансирования энергосберегающих мероприятий в рамках инвестиционных проектов рассмотрены нами в гл. 6. Рассмотрим их практическую реализацию на примере законодательства Республики Беларусь.

Законодательством Республики Беларусь предусмотрена система финансовой поддержки деятельности, направленной на реализацию политики повышения энергоэффективности и энергетической безопасности ее экономики (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Система финансовой поддержки
и динамика инвестирования энергосбережения

Инвестиционный источник	Источники образования	Распределение инвестиций в энергосбережение	
		1996–2000 гг.	2001–2005 гг.
1	2	3	4
Средства инновационного фонда (ИФ) концерна «Белэнерго», предназначенные для долевого участия в финансировании работ по энергосбережению	Законом о бюджете разрешено создавать ИФ за счет увеличения тарифов на электроэнергию с включением в себестоимость продукции. До 30–33 % ИФ перечисляются на финансирование мероприятий по энергосбережению	45,3 %	34,5 %
Средства инновационных фондов министерств и ведомств	Предусмотрено Законом о бюджете. До 20 % ИФ направляются на энергосбережение		

Окончание табл. 9.1

1	2	3	4
Собственные средства субъектов хозяйствования	В соответствии с законодательством	44,3 %	54,5 %
Средства фонда «Энерго- и ресурсосбережение»	Образуются субъектами хозяйствования, в объеме стоимости сэкономленных ТЭР, материальных и сырьевых ресурсов		
Средства республиканского и местных бюджетов	В соответствии с Законом о бюджете	10,1 %	4,5 %
Республиканский бюджетный фонд «Энергосбережение»	Платежи и штрафы за нарушение правил использования и за нерациональное использование ТЭР		
Привлеченные средства международных финансовых организаций	В соответствии с условиями международных организаций	0,3 %	6,5 %
Итого		100 %	100 %

Основными элементами этой системы являются:

- льготное кредитование;
- премирование;
- финансирование мероприятий по энергосбережению на безвозвратной и возвратной основе.

Льготное кредитование. В Республике Беларусь введено льготное кредитование мероприятий по энергосбережению, при этом проценты за пользование кредитами не должны превышать половины ставки рефинансирования Национального банка.

Объектами выдачи и возврата кредитов определены банки, выделяющие кредиты, и получатели, которые участвуют в реализации отраслевой или региональной программы, а также выполняющие работы, входящие в

перечень энергосберегающих мероприятий республиканского значения. Компенсация потерь банков, связанных с льготным кредитованием, осуществляется за счет средств инновационных фондов министерств, ведомств и объединений, направляемых на энергосбережение, и республиканского фонда «Энергосбережение».

В соответствии с положением о фонде «Энергосбережение» средства его расходуются на:

- осуществление мероприятий и реализацию программ по энергосбережению, включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- долевое участие в разработке и внедрении энергосберегающих технологий, оборудования и материалов, включая приобретение лицензий на их внедрение;
- участие в организации международного сотрудничества в сфере энергосбережения;
- предоставление в установленном порядке кредитных льгот и субсидий пользователям и производителям топливно-энергетических ресурсов при реализации ими мероприятий по энергосбережению;
- осуществление мероприятий, связанных с развитием малой и нетрадиционной энергетики, использованием возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов;
- проведение государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений;
- разработку нормативных документов по стандартизации и других нормативно-технических актов, регламентирующих использование топливно-энергетических ресурсов;
- проведение работ по энергетическому обследованию предприятий, учреждений, организаций;
- долевое участие в оснащении пользователей и производителей топливно-энергетических ресурсов средствами учета, контроля и регулирования потребления энергии и топлива;
- создание, совершенствование и приобретение эталонных установок воспроизведения и передачи единиц физических величин топливно-энергетических ресурсов;

- подготовку и переподготовку кадров для сферы энергосбережения;
- организацию пропаганды и информационного обеспечения по вопросам эффективного использования топливно-энергетических ресурсов;
- приобретение технических средств и технологического оборудования для осуществления надзора за рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов и обеспечение деятельности Комитета по энергоэффективности, направленной на эффективное использование и экономию этих ресурсов;
- осуществление других мероприятий по энергосбережению в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь;
- до 10 % средств фонда может резервироваться на финансирование энергосберегающих мероприятий, не предусмотренных при утверждении сметы затрат (страховой запас).

Финансирование мероприятий по энергосбережению на безвозвратной и возвратной основе. Согласно законодательству Республики Беларусь, *финансирование мероприятий по энергосбережению на безвозвратной основе* может осуществляться:

- в организациях и учреждениях бюджетной сферы;
- на демонстрационных объектах республиканского и областного значения;
- при установке в действующих котельных паровых турбин, парогазовых и газотурбинных установок;
- при использовании нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- для обучения и подготовки специалистов;
- в организации информационного обеспечения;
- при разработке актов законодательства и научно-технической документации;
- для организации международного сотрудничества.

Финансирование мероприятий по энергосбережению на возвратной основе осуществляется на средства, выданные за счет инновационного фонда концерна «Белэнерго»

и предназначенные для долевого участия в финансировании приоритетных работ по энергосбережению. Эти средства подлежат возврату с индексацией в размере 0,2 ставки рефинансирования.

Премирование. Согласно законодательству Республики Беларусь данная форма стимулирования энергосбережения допускается в учреждениях и организациях, финансируемых из государственного бюджета. Премирование производится за счет экономии ТЭР, полученной по смете затрат при подтверждении данными бухгалтерского учета и показаниями приборов.

9.4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Одним из важнейших факторов в области энергосбережения является информированность специалистов и широких кругов населения о методах и способах эффективного использования энергии.

Например, в Республике Беларусь в средствах массовой информации имеются публикации, транслируются телевизионные ролики, показывающие необходимость и методы эффективного использования энергии. Для специалистов издаются журналы «Энергоэффективность», «Энергия и менеджмент». Создан учебный центр при ГП «Белэнергосбережение». В высших и средних специальных учебных заведениях введено преподавание дисциплин «Основы энергосбережения», «Энергосбережение и энергетический менеджмент». Больше внимания стало уделяться энергосбережению и в рамках других общеобразовательных и специальных технических дисциплин. Готовятся специалисты по специальности «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент», которым присваивается квалификация инженер-энергомеджер. Однако еще не все возможности в области информационного обеспечения энергосбережения исчерпаны. Не налажена консультационная деятельность, мало используются современные информационные технологии. В то же время эти информационные средства за рубежом ока-

зывают действенное влияние на рациональное и экономное использование энергетических ресурсов.

С учетом важности информационного обеспечения энергосбережения соответствующие разделы, определяющие сферы деятельности в этой области, имеются в Законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» и в Республиканской программе энергосбережения.

Непосредственно к вопросу информационного обеспечения примыкает проблема подготовки кадров (рис. 9.3). Например, программа энергосбережения предусматривает:

- развитие непрерывной многоуровневой системы образования в области энергосбережения;
- широкое использование республиканской информационно-аналитической системы (РИАС) «Энергосбережение» для оперативного получения информации, ее анализа, пропаганды и рекламы новых технологий и оборудования;
- создание единой республиканской высококачественной интеллектуальной системы рекламы, ориентированной на существующую структуру общества.

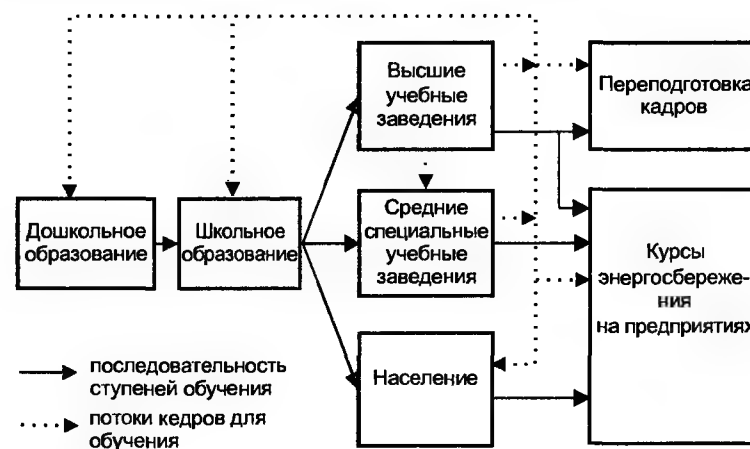


Рис. 9.3. Структура многоступенчатого обучения и переподготовки кадров в области энергосбережения

Образовательная и информационная деятельность тесно связаны с консультационной. За рубежом это направление называется консалтингом в области энергии. Оно охватывает потребителей энергии и специалистов и заключается в предоставлении услуг в виде квалифицированной помощи в области экономии энергии. Например, создание в Дании консалтинговых схем позволило получить значительные результаты в области экономии энергии.

В широком понимании *консалтинговая схема* – это система планомерных мероприятий, осуществляемая в какой-либо области. В нашем случае – в области экономного и рационального использования энергии.

Эти мероприятия включают создание консультационных организаций, учебных курсов и проведение занятий, разработку программ и иллюстративных материалов, организацию информационных кампаний для разъяснения целей энергосбережения, подготовку и издание публикаций как для широкой общественности, так и специалистов.

Консультационная деятельность тесно связана с информационной деятельностью в области энергосбережения.

В качестве консультантов в консалтинговых фирмах работают специалисты с инженерным образованием и практическим опытом работы. Предварительно они проходят переподготовку с получением права на проведение консультационной деятельности.

Консультирование охватывает следующие основные направления:

- сбережение энергии в существующих зданиях;
- модернизация и эксплуатация крупных тепловых пунктов и систем централизованного теплоснабжения;
- вопросы экономии энергии в промышленности и общественных зданиях;
- энергетический менеджмент по вопросам отопления, использования электроэнергии и питьевой воды в крупных зданиях.

Сейчас важно иметь средства для быстрого нахождения необходимой информации. Это могут обеспечить современные информационные технологии. В настоящее

время в Беларуси сделаны некоторые шаги по разработке и внедрению автоматизированных информационных систем в области энергосбережения, например РИАС «Энергосбережение».

РИАС «Энергосбережение» предназначена для выполнения следующих основных функций:

- обеспечение взаимодействия с источниками директивной и правовой информации в Беларуси, постоянная актуализация информации;
- ведение базы данных официальных документов России, СНГ, Европейского Союза, специализированных международных организаций;
- публикация на сервере сведений о проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах;
- предоставление информации о патентах и изобретениях в области энергосбережения в соответствии с международной патентной классификацией;
- размещение на сервере рекламной и адресно-справочной информации о внедренческих фирмах и организациях;
- дальнейшее развитие технологий формирования полнотекстовых баз данных и информационно-поисковых систем;
- расширение структуры РИАС за счет добавления информационных систем и реализуемых функций;
- предоставление возможности работы с системой практически всему имеющемуся у пользователей парку персональных ЭВМ независимо от располагаемой мощности компьютеров.

Структура комплекса технических средств системы РИАС «Энергосбережение» показана на рис. 9.4. Система ориентирована на использование Internet-технологий, работающих по принципу взаимодействия «клиент-сервер», и включает три мощных сервера:

- информационный (Web-сервер), содержащий тексты исходных страниц и осуществляющий связь с базами данных (BD);
- сервер BD, структурированно хранящий содержательную часть РИАС;

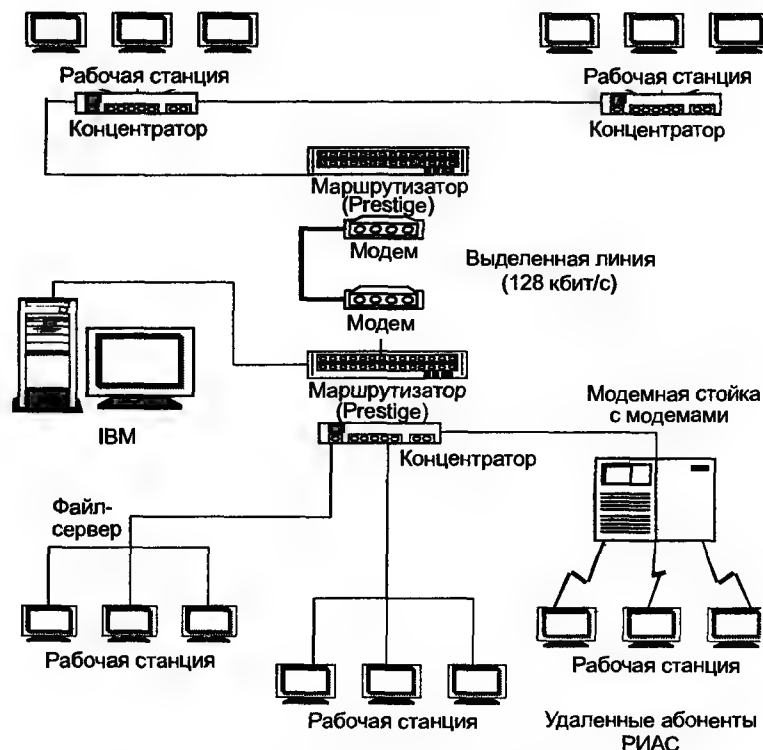


Рис. 9.4. Схема технических средств РИАС «Энергосбережение»

• коммуникационный, обеспечивающий связь системы с абонентами в соответствии с назначенными условиями доступа.

Следует отметить, что по ряду вопросов более детальную информацию могут дать ведомственные специализированные локальные информационные системы. Примером подобной системы может служить развернутая в Белорусском государственном технологическом университете информационная система «Энергосберегающее оборудование и технологии».

Данная локальная информационная система построена на основе проблемной смешанной документально-фактогра-

фической реляционной базы данных (БД) и реализована на основе системы управления базами данных (СУБД) Paradox 9.0. Структура банка данных показана на рис. 9.5.

Банк данных включает:

- фактографическую БД «Энергоэффективное оборудование и технологии»;
- БД со сведениями о разработке или производителе энергосберегающего оборудования;
- реферативно-библиографическую базу данных.

Разработанная база данных не содержит полнотекстовые документы, поэтому в ней даются ссылки на источники. В самой базе данных можно найти реферативное

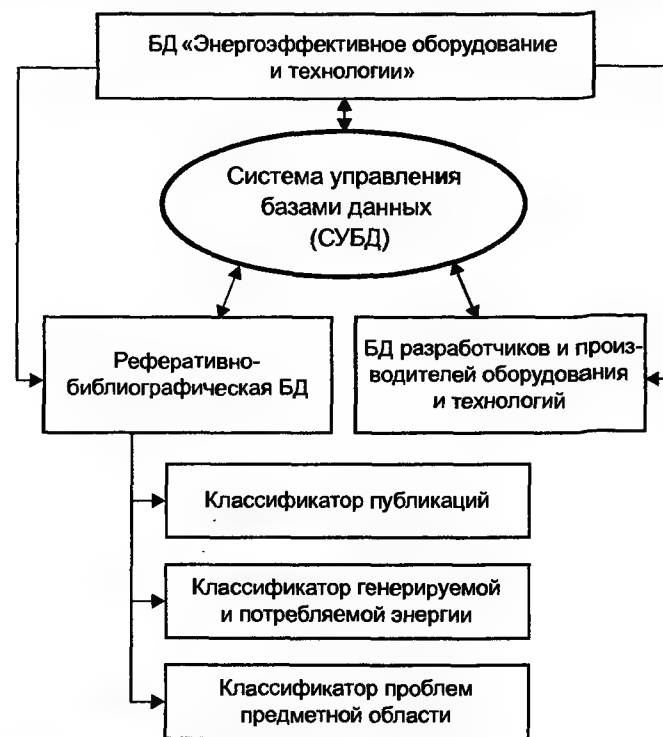


Рис. 9.5. Компоненты смешанной базы данных

описание оборудования и технологий, в том числе с предоставлением информации в графическом виде, а также сведения об их разработчике или производителе. При этом хранящаяся информация делится на постоянную и текущую. Постоянная информация имеет ссылки на публикации в виде монографий, статей, каталогов и т. п., которые можно отыскать в фондах библиотек или организаций.

Текущая информация имеет ссылки на рекламные издания: проспекты, буклеты. Она рассчитана на сбыт готовой продукции, и используемые источники информации не являются подтверждением ее полной достоверности. Например, по параметрам энергоэффективности оборудования. В то же время она представляет значительный интерес, так как обычно является актуальной и наиболее оперативной. С целью эффективного поиска данных в разработанной информационной системе используются классификаторы источников информации, видов энергии в процессе ее производства, преобразования, передачи, распределения или потребления и проблемный классификатор.

В качестве предметной области для наполнения банка данных «Энергоэффективное оборудование и технологии» взяты основные и косвенные направления, с которыми связана подготовка специалистов в БГТУ. К этим направлениям относятся:

- общие вопросы энергосбережения;
- местные топливные ресурсы и их использование;
- лесная и деревообрабатывающая промышленность;
- химическая техника и технология;
- производство строительных материалов;
- здания и сооружения;
- нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Информационная система «Энергоэффективное оборудование и технологии» предназначена для организации поиска и получения необходимой информации по проблеме энергосбережения с минимальными затратами времени.

Обширную информацию по энергосбережению можно найти на сайтах Интернета. В качестве примера приведем несколько [www-серверов](#):

- сайт www.energocentre.com, поддерживаемый Белорусской ассоциацией промышленных энергетиков;
- сайт www.cenef.kiev.ua Государственного комитета Украины по энергосбережению;
- англоязычный сайт www.ase.org Ассоциации энергосбережения (США).

Перечисленные сайты позволяют ознакомиться с новостями, методами обучения, некоторыми электронными публикациями, нормативами и другой полезной информацией в области эффективного и рационального использования энергии.

9.5. МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

Общие подходы в области стимулирования энергосбережения за рубежом. Методы стимулирования энергосбережения за рубежом могут представлять интерес для Республики Беларусь в переходный период ее экономического развития. Рассмотрим их на примерах организации энергетического менеджмента в странах Западной Европы, использующих преимущественно методы экономического воздействия на потребителей ТЭР, и в Японии, отдающей предпочтение государственному регулированию энергосбережения.

В числе средств, широко используемых в мире и оказывающих существенное влияние на повышение эффективности использования ТЭР, входят как жесткие, сильнодействующие (цены и тарифы) средства, так и широко распространенные в мире достаточно мягкие, гибкие, как, например, экономические, не менее активно стимулирующие энергосбережение. При этом наблюдается общее стремление придать им легитимный характер, т.е. представить в виде законов или законодательных актов. Причем эти тенденции свойственны как странам, предпочитающим государственное регулирование энергопотребления, так и идеализирующим роль рыночных механизмов.

Сущность всех программ по энергосбережению, разрабатываемых в различных странах, – это стремление взяться за «самое плохое», т. е. направить финансовые средства и усилия прежде всего в те области, где результаты могут оказаться наиболее впечатляющими. Так как Западная Европа руководствуется в основном рыночными мотивами в продвижении по пути совершенствования энергоэффективности, здесь, как правило, стараются избегать правового регулирования, предпочитая информационные программы, повышающие уровень технической осведомленности, весьма осторожно используют нормативное регулирование.

Методы стимулирования энергосбережения в странах Западной Европы. На приведенной (рис. 9.6) диаграмме показано, в каких секторах общественной деятельности, по мнению западноевропейских специалистов, нормативное регулирование более благоприятно. Из нее следует основной, принятый в Западной Европе, принцип – чем выше энергетическая интенсивность (например, в промышленности), тем меньше уровень нормативного регулирования. Рынок сам вынудит заниматься энергосбережением и энергоэффективностью. На представленной диаграмме также показано, что областями с самым высоким

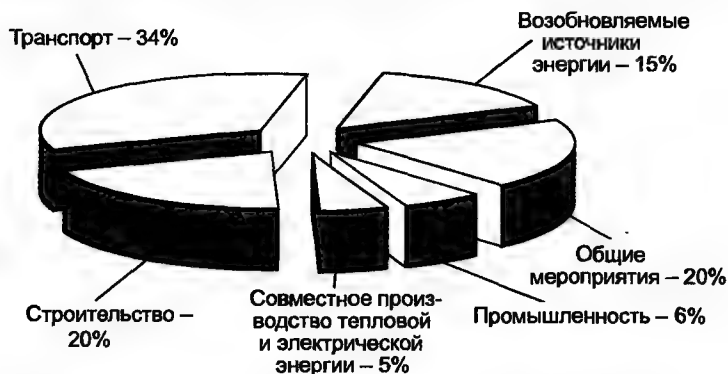


Рис. 9.6. Уровни нормативного регулирования энергопотребления в странах Западной Европы

уровнем правового регулирования являются те, в которых имеется наибольшее число потребителей, – например транспортный и строительный сектора.

Общие мероприятия. Во многих странах законодательные рамки позволяют обеспечить основным мероприятиям по повышению энергоэффективности легитимный характер. Это особенно важно в тех случаях, когда устанавливаются специальные налоговые стимулы или субсидии, которые, естественно, должны согласовываться с законом о налогообложении. В других же странах ограничиваются приданием планам по энергосбережению статуса национальных программ.

Некоторые страны ввели обязательное требование назначения менеджера по энергетике, разрабатывающего годовые планы по повышению энергоэффективности и несущего личную ответственность за их выполнение. Безусловно, это касается крупных пользователей энергии. Выполнение этого требования открывает компании доступ к правительственным субсидиям на энергосбережение (как, например, в Италии).

Там, где существует субсидирование энергосберегающих мероприятий, условия его получения установлены законодательно и зафиксированы в Законодательном акте для дотаций. Такие акты имеются в законодательстве 10 из 15 стран – членов ЕС.

В ряде стран принят закон о налоговых льготах (стимулах). Он позволяет делать налоговые скидки на расходы по приобретению энергосберегающего оборудования или услуг, ведущих к снижению потребления ТЭР. Данный закон часто применяют и для компенсации налогов отдельных граждан или коллективов. Некоторые программы предлагают компаниям выбор: платить налог за потребляемую энергию или произвести инвестиции в повышение энергоэффективности собственного производства.

В таких странах, как Бельгия, Дания, Франция, создан так называемый Возобновляемый фонд, представляющий собой государственный фонд по выдаче займов для инвестирования в энергосберегающие мероприятия. Возвращаемые средства пополняют фонд, делая его постоян-

но действующим и хозрасчетным. Как правило, установленная фондом процентная ставка ниже, чем при обычных коммерческих условиях, что равносильно льготному кредиту. Следует отметить, что Возобновляемый фонд – достаточно дорогое мероприятие для правительства. В качестве альтернативы ему в ряде стран (например, Франции, Германии, Люксембурге, Нидерландах) применяется норма ускоренной амортизации. Последняя представляет собой право, предоставляемое доходным предприятиям списывать инвестиции в проекты по энергоэффективности быстрее, чем другие капиталовложения, что дает возможность снизить за короткий срок налоговую задолженность.

В Австрии, Дании, Франции, Ирландии, Италии, Нидерландах под рубрикой общих мероприятий применяется правовое регулирование (нормативы) ЭМС (энергетический менеджмент спроса) коммунальных хозяйств, состоящее в том, что, следуя программе энергетического менеджмента спроса, производитель энергии отдает часть своей прибыли скорее на финансирование энергосберегающих мероприятий для потребителей, чем на строительство новых генерирующих мощностей. Поскольку большинство национальных поставщиков энергии находится в собственности государства, то оно перед финансированием подобных схем должно утвердить затраты и прибыль от реализации программы и форму правового регулирования расходов.

Рассмотрим специфику методов управления энергосбережением в различных секторах экономики.

Промышленность. В целом лишь несколько стран Западной Европы занимаются законодательным установлением показателей энергоэффективности, непосредственно относящихся к промышленности. Как указывалось выше, причиной непопулярности введения нормативов для промышленности является то, что в условиях рыночной экономики она имеет достаточно мощные стимулы к действию. Действительно, обладая высоким техническим потенциалом, финансовыми средствами и высокой технической квалификацией персонала, промышленность долж-

на стремиться к максимальным доходам, чтобы выстоять в конкурентной борьбе, а значит, активно осуществлять политику энергосбережения. И все же в некоторых странах используются мероприятия, стимулирующие повышение энергоэффективности в промышленности. К их числу относятся:

- обязательные энергетические аудиты;
- составление планов организационно-технических мероприятий по снижению потребления ТЭР и отчетов по их реализации;
- введение стандартов на отдельные виды технологического оборудования;
- введение благоприятного ценового режима, денежных дотаций.

В некоторых странах ЕС применяются обязательные энергетические аудиты. В отраслях с большим потреблением энергии аудиты проводятся на регулярной основе, и их предписания обязательны к исполнению. Энергетические аудиты являются необходимым условием для выделения правительственных субсидий или другой помощи в осуществлении мероприятий по энергосбережению. В Италии, Франции, Нидерландах, Португалии существует требование составления энергетических планов крупными промышленными предприятиями с указанием намечаемых мероприятий по повышению энергоэффективности, а также предоставления отчетов о деятельности, направленной на уменьшение энергопотребления. В Германии, Греции и Франции применяются стандарты для камер сгорания топлива. Понятно, роль этого стандарта особенно велика там, где эксплуатируются парогенераторы или установки по выработке технологической теплоты. Кроме того, в некоторых странах вводятся энергетические стандарты на двигатели, насосы, вентиляторы и компрессоры. Для стимулирования совместной выработки теплоты и электроэнергии в некоторых странах Западной Европы (менее половины от входящих в ЕС) используются такие методы стимулирования энергосбережения, как введение благоприятного ценового режима и денежных дотаций.

Например, совместное финансирование внедрения энергосберегающих технологий и оборудования.

Строительство и коммунально-бытовой сектор. Самыми распространенными из всех используемых нормативов в строительстве являются нормативные сопротивления теплопередаче через ограждающие конструкции зданий и сооружений. Они должны гарантировать тепловые потери ниже максимально допустимого уровня при проектировании новых зданий. В некоторых случаях национальные энергетические кодексы применяются также к работам по реабилитации существующих зданий.

Нормативное регулирование эффективности применяется как к отопительному оборудованию, так и к водогрейным системам. Существуют нормативы энергопотребления холодильниками, моечными машинами и другими видами домашнего оборудования.

Законодательные акты, закрепляющие подобные нормативы, могут или запретить продажу приборов и оборудования, у которых энергетические характеристики ниже определенного уровня, или потребовать соответствующей маркировки, информирующей покупателя об неэффективном энергопотреблении. Стандарты на приборы и правила маркировки также оговорены законодательными актами.

В Австрии и Германии введено измерение потребления тепловой энергии отдельными жилыми домами. Учет тепловой энергии, потребляемой жилым домом, входящим в систему централизованного теплоснабжения, предполагает выявление фактической стоимости потребленной тепловой энергии. Счета за энергию являются предпосылкой к действенной работе по энергосбережению, включая поиски и внедрение эффективных средств регулирования количества потребляемой энергии.

Транспорт. Как уже отмечалось выше, транспорт является наиболее нормативно регулируемой сферой. Самым распространенным инструментом влияния в данном случае служат высокие налоги на топливо для двигателей. Цены на топливо влияют на решение потребителей о выборе автомобиля, а это в свою очередь ориентирует про-

изводителей на выпуск тех или иных типов машин. К примеру, в Италии существуют высокие налоги и цены на бензин и один из самых эффективных с точки зрения потребления топлива автомобильных парков Европы. Однако многие правительства используют налогообложение на топливо не столько для стимулирования эффективности его использования, сколько для пополнения бюджета.

Директива ЕС требует ежегодной проверки состояния транспортных средств, в том числе определения характеристик выбросов. В некоторых случаях национальные требования включают и оценку качества и эффективности использования топлива. Некоторые европейские правительства в 1980-е годы заключили добровольные соглашения с производителями транспортных средств по повышению эффективности новых автомобилей. Были достигнуты плановые показатели, хотя не исключено, что факторы внешнего рынка привели бы к такому же результату даже при отсутствии подобных соглашений.

В некоторых европейских странах в течение ограниченных периодов времени применялись субсидии или налоговые скидки для замены транспортных средств. Иногда эти стимулы использовались для ускорения внедрения каталитических нейтрализаторов.

Ограничение скорости существует в каждой стране практически для всех видов дорог. Оно прежде всего мотивируется соображениями безопасности, но вместе с тем приносит дополнительную пользу по экономии топлива.

Налоги на покупку и импорт машин, а также ежегодная пошлина на автомобили – это средства увеличения годового дохода. Тем не менее они также часто разрабатываются для того, чтобы стимулировать спрос потребителя на машины с более высокоэффективным использованием топлива.

В общем случае структура налогообложения в транспорте непосредственно влияет на производителей. Например, оказалось, что возрастающий налог на добавленную стоимость (т. е. повышенный показатель для объема двигателя, превышающего определенный уровень, как во Франции и Италии) с точки зрения энергоэффективности

благоприятно влияет на размер транспортного средства. У транспортных средств на дизельном топливе расход топлива ниже, чем у транспортных средств на бензине, особенно в городском режиме. Отсюда и применение дифференцированного налогообложения для бензина и дизельного топлива, которое привело к большему распространению дизельных машин в Европе. Так, во Франции и Великобритании весьма существенно проникновение дизелей в автопарк. Маркировка новых автомобилей по расходу топлива и распространение сведений о его потреблении помогают преодолеть информационный барьер на пути к энергосбережению. В Великобритании такая маркировка является обязательным требованием, в других странах принят добровольный порядок классификации. В некоторых европейских странах при прохождении экзамена для получения водительских прав существует проверка качества вождения с позиций эффективного использования топлива.

Возобновляемые источники энергии. Отсутствие в настоящее время на рынке многих технологий, основанных на использовании возобновляемой энергии, означает, что требуется определенная форма финансовой поддержки их развития. Поэтому во многих странах существуют нормативы, направленные на оказание такой поддержки.

Покупка электроэнергии от возобновляемых источников имеет довольно сильную поддержку во многих странах. Для этого используют различные методы. Например, в Дании коммунальные предприятия обязаны покупать энергию от возобновляемых источников. В Великобритании существуют гарантированные цены на электроэнергию от возобновляемых источников энергии.

В странах ЕС используются и другие методы стимулирования развития энергогенерирующих технологий на возобновляемых энергоресурсах. Например, в Австрии, Италии и Нидерландах обеспечивается, среди прочих, поддержка капитальных вложений в проекты по возобновляемым источникам энергии, Германия оказывает поддержку в виде льготных займов, а Португалия снизила НДС на оборудование для возобновляемых источников энергии.

Методы стимулирования энергосбережения в Японии. В отличие от Западной Европы Япония твердо стоит на позиции государственного регулирования. Поэтому используемые ею стимулы представляют специальный интерес для Беларуси.

Японский закон об энергосбережении предписывает правительству применять финансовые и налоговые меры для стимулирования рационального использования энергии. Закон учреждает приоритетность инвестиций в энергосбережение в сравнении с капиталовложениями в другое оборудование.

Если предприниматель в Японии собирается внедрять энергосберегающее оборудование, у него есть возможность получения займа на благоприятный срок в одном из банков, капитал которого полностью принадлежит правительству (перечень таких банков приведен в приложении к закону). Среди них, например, Японский банк развития финансирует сравнительно крупные предприятия, Финансовая корпорация малого бизнеса обслуживает малые и средние предприятия, Народная финансовая корпорация — очень малые предприятия. На строительство дома японцы могут взять ссуду в Жилищной кредитной корпорации, которая также является банковским учреждением, чей капитал полностью принадлежит японскому правительству. В том случае, если дом обеспечивается элементами энергосбережения (например, дополнительной теплоизоляцией), верхний предел ссуды может быть поднят.

Не менее весомы и налоговые льготы. Если корпоративный или индивидуальный предприниматель приобретает энергосберегающее оборудование в фискальном году или использует его для дела в пределах одного года после приобретения, предприятие может претендовать на:

- меру, при которой его общий налог или налог на прибыль уменьшается на 7 % от стоимости приобретенного оборудования (скидка может составить вплоть до 20 %);
- меру, при которой специальная скидка, равная 30 % от стоимости оборудования, применяется в дополнение к обычной скидке в первый год.

Перечень оборудования, на которое эти меры распространяются, включает 81 наименование.



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова организационная структура управления энергосбережением в Беларуси?
2. Каким образом осуществляется правовое регулирование в Беларуси?
3. Какие методы экономического стимулирования энергосбережения предусмотрены в законодательстве Беларуси?
4. Каково значение информационного обеспечения в области энергосбережения?
5. Нарисуйте схему структуры многоступенчатого обучения и переподготовки кадров в области энергосбережения.
6. Какие информационные системы в области энергосбережения вы знаете? Каков принцип их функционирования?
7. Какие методы стимулирования энергосбережения используются за рубежом?

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСКУЭ	–	автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии
АСТ	–	атомная станция теплоснабжения
АТЭЦ	–	атомная теплоэлектроцентраль
АЭС	–	атомная электрическая станция
БД	–	база данных
ВА	–	единица измерения реактивной мощности в электрической цепи переменного тока
ВАР	–	единица измерения полной мощности в электрической цепи переменного тока
ВНП	–	валовый национальный продукт
ВНР	–	внутренняя норма рентабельности
ВЭР	–	вторичные энергоресурсы
ВЭУ	–	ветроэнергетическая установка
ГРП	–	газоредуцирующий пункт
ГРС	–	газораспределительная станция
ГТРС	–	газотурбинная расширительная станция
ГТУ	–	газотурбинная установка
ГЭС	–	гидроэлектростанция
ДВС	–	двигатель внутреннего сгорания
ИР	–	индекс рентабельности
КЛ	–	компактная люминесцентная лампа
КПД	–	коэффициент полезного действия
ЛЭП	–	линия электропередачи
НДС	–	налог на добавленную стоимость

ОТМ	–	организационно-технические мероприятия
ПГУ	–	парогазовая установка
ПТУ	–	паротурбинная установка
РИАС	–	республиканская информационно-аналитическая система
СНБ	–	строительные нормы Беларуси
СТД	–	синхронный электродвигатель
СУВД	–	система управления базами данных
ТЦ	–	текущая ценность
ТЭР	–	топливно-энергетические ресурсы
ТЭС	–	тепловая электрическая станция
ТЭЦ	–	теплоэлектроцентраль
УНП	–	учетная норма прибыли
УУД	–	учетный уровень дохода
ЧТЦ	–	чистая текущая ценность
ЭДС	–	электродвижущая сила
ЭМС	–	энергетический менеджмент спроса
ЭПР	–	энергопроизводительность
ЭСКО	–	энергосервисная компания
ЭТУ	–	электротермические установки
ЯЭУ	–	ядерная энергетическая установка

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева А.Ф., Дунаев В.Ф., Зубарева В.Д. и др. Основы проектного анализа в нефтяной и газовой промышленности. – М., 1997.
2. Анчарова Т.В., Гамазин С.И., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. – М., 1990.
3. Аракелов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономики энергоресурсов. – М., 1990.
4. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление: Справочник проектировщика / В.Н. Богословский и др. – М., 1990.
5. Володин В.И. Энергосбережение. – Мн., 2001.
6. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. – М., 2004.
7. Громов Н.К. Городские теплофикационные системы. – М., 1974.
8. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» // Энергоэффективность. – 1998. – № 7.
9. Клевцова А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии – М., 2004.
10. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М., 2001.
11. Меломед Л.Б., Суслов Н.И. Экономика энергетики – Новосибирск, 2000.
12. Михалевич А.А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент. – Мн., 2003.
13. Михеев А.П., Береговой А.М., Петрянина Л.Н. Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения. – М., 2002.
14. Основы энергосбережения / Под ред. Н.Г. Хутской. – Мн., 1999.
15. Поспелова Т.Г. Основы энергосбережения. – Мн., 2000.
16. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник. – М., 1991.

17. Сборник нормативно-технических материалов по энергосбережению. – Мн., 2000.
18. Свободно-конвективные течения, тепло- и массообмен. – М., 1991. Кн. 1.; Кн. 2.
19. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М., 1990.
20. Экспресс-методика разработки мероприятий по энергосбережению на основе составления энергобаланса промышленного предприятия. – Мн., 1991.
21. Энергосберегающие технологии в современном строительстве / Под ред. В.Б. Козлова. – М., 1990.
22. Энергосбережение и энергетический надзор. Нормативно-технические документы. – Мн., 2000.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
<i>Контрольные вопросы</i>	14
Глава 1. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	15
1.1. Классификация первичных энергетических источников	15
1.2. Местные топливно-энергетические ресурсы	17
1.3. Органическое топливо	21
<i>Контрольные вопросы</i>	27
Глава 2. ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ	28
2.1. Производство теплоты	28
2.2. Производство электрической энергии	38
2.3. Автономное энергоснабжение	43
2.4. Потребление энергии и эффективность энергоустановок	46
<i>Контрольные вопросы</i>	48
Глава 3. ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	49
3.1. Потенциал возобновляемых источников энергии	49
3.2. Биомасса	51
3.3. Гидроэнергетика	58
3.4. Ветроэнергетика	62
3.5. Гелиоэнергетика	68
3.6. Повышение эффективности возобновляемых источников энергии	77
<i>Контрольные вопросы</i>	81
Глава 4. ТРАНСПОРТИРОВКА ЭНЕРГИИ	83
4.1. Транспортировка первичных энергоресурсов	83
4.2. Транспортировка теплоты	87
4.3. Транспортировка электрической энергии	93
<i>Контрольные вопросы</i>	97
Глава 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	98
5.1. Взаимосвязь экологии и энергосбережения	98
5.2. Невозобновляемые источники энергии и окружающая среда	101
5.3. Возобновляемые источники энергии и окружающая среда	107
<i>Контрольные вопросы</i>	110
Глава 6. УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ И ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	111
6.1. Задачи и методы энергетического обследования промышленного предприятия	111

6.2. Энергетический баланс предприятия	117
6.3. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов ...	125
6.4. Классификация энергосберегающих мероприятий по виду и составу экономического эффекта	133
Контрольные вопросы	137
Глава 7. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ.....	138
7.1. Вторичные энергетические ресурсы.....	138
7.2. Трансформаторы тепла	157
7.3. Эффективное использование электроэнергии	169
7.4. Энергосбережение в зданиях и сооружениях	181
7.5. Учет и регулирование потребления энергии	194
Контрольные вопросы	210
Глава 8. ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МЕНЕДЖМЕНТЕ	213
8.1. Планирование капиталовложений на развитие энергетиче- ских источников	213
8.2. Оценка и анализ рисков инвестиционных проектов	217
8.3. Схемы финансирования проектов.....	223
8.4. «Экономические» методы проектного анализа	227
8.5. Показатели эффективности инвестиционных проектов	232
8.6. «Неэкономические» методы проектного анализа	240
8.7. Энергетическое планирование	249
Контрольные вопросы	258
Глава 9. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	259
9.1. Координация работ в области энергосбережения	259
9.2. Правовые механизмы регулирования потребления энергетиче- ских ресурсов	263
9.3. Экономическое стимулирование энергосбережения	268
9.4. Информационное обеспечение энергосбережения	272
9.5. Методы стимулирования энергосбережения за рубежом	279
Контрольные вопросы	288
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	289
ЛИТЕРАТУРА	291

Учебное издание

Андрижиевский Анатолий Альбертович
Володин Виктор Иванович

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Майборода
Художественный редактор В.А. Ярошевич
Технический редактор Л.И. Счисленок
Корректоры В.И. Аверкина, В.П. Шкредова
Компьютерная верстка Н.В. Шабуня

Подписано в печать 20.06.2005. Формат 84×108/32. Бумага типографская. Гарнитура «Школьная». Офсетная печать. Усл. печ. л. 15,54. Уч.-изд. л. 15,08. Тираж 2000 экз. Заказ 1923.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство «Бышэйшая школа»». ЛПИ № 02330/0056829 от 02.03.2004. 220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Республиканское унитарное предприятие «Типография «Победа»». 222310, Молодечно, ул. Тавлая, 11.

Вам нужна литература современная,
оригинальная, лицензионная?

Вы – наш читатель!

В издательстве “Вышэйшая школа”:

**Всегда в продаже более 140
наименований книг**

(научная, научно-популярная, справочная литература,
учебники и учебные пособия для профессионально-
технических, средних специальных и высших учебных
заведений)

Наш адрес: пр. Машерова, 11
220048, г. Минск, Республика Беларусь

Отдел маркетинга и рекламы:

Тел.: (017) 203 67 38, 203 99 35

Факс: (017) 203 54 15, 203 29 12

www.vshph.com E-mail: vsh@solo.by

**Полный ассортимент книг издательства
представлен в опорных магазинах:**

Минск
«АКАДЕМКНИГА»
пр. Ф. Скорины, 72
Тел.: 202 00 52

«СВЕТОЧ»
пр. Машерова, 11
Тел.: 203 34 96

**«МЕДИЦИНСКАЯ
КНИГА»**
ул. М.Танка, 16
Тел.: 203 85 38

Витебск
«СВЕТОЧ»
ул. Кирова, 10
Тел./факс: 36 03 16

Могилев
«СВЕТОЧ»
ул. Королева, 37
Тел.: 23 06 44

Новополоцк
«ВОСХОД»
ул. Кирова, 4
Тел./факс: 55 01 33

Пинск
«КРИНИЦА»
ул. Первомайская, 141а
Тел.: 33 16 38

Брест
«ДРУЖБА»
бульв. Космонавтов, 120
Тел.: 22 04 62

Гомель
**«КНИГИ»,
магазин № 23**
пр. Октября, 34
Тел.: 48 51 84

Гродно
«КРУГОЗОР»
бульв. Ленинского
комсомола, 29а
Тел.: 78 73 12



“Вышэйшая школа”